

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

Cleide Cedeni Andrade

PROTEÇÃO TÉRMICA EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO

FLORIANÓPOLIS, 2010

Cleide Cedeni Andrade

PROTEÇÃO TÉRMICA EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Souza.

Florianópolis, 2010

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

A553p Andrade, Cleide Cedeni
 Proteção térmica em elementos estruturais de aço
 [dissertação] / Cleide Cedeni Andrade; orientador, João
 Carlos Souza. - Florianópolis, SC, 2010.
 191 p.: il., grafs., tabs.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
 Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
 Arquitetura e Urbanismo.

 Inclui referências

 1. Arquitetura. 2. Incêndios. 3. Prevenção de incêndio.
 4. Proteção térmica. I. Souza, João Carlos. II. Universidade
 Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
 Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDU 72

Cleide Cedeni Andrade

PROTEÇÃO TÉRMICA EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO

Esta dissertação foi julgada e aprovada perante banca examinadora de trabalho final, outorgando ao aluno o título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Projeto e Tecnologia do Ambiente construído, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD.

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Banca examinadora:

Prof. João Carlos Souza, Dr. - Orientador

PósARQ – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Sérgio Castello Branco
Nappi, Dr. (PósARQ/UFSC)

Prof. Wilson Jesuz da Cunha
Silveira, Dr. (PósARQ/UFSC)

Prof. Arnaldo Debatin Neto, Dr.
(PósARQ/UFSC)

Prof. Hércules Nunes Araújo, Dr.
(UNISUL)

Florianópolis, 2010.

A minha amada esposa Eliani e aos meus amados filhos
Marco Antônio e Victor Hugo.

AGRADECIMENTOS

Retornar à vida acadêmica depois de 15 anos afastado, trabalhando com uma linguagem diferenciada nas lidas de profissional na área da Arquitetura, Engenharia e ensino técnico, sem dúvida, foi uma grande provação. Retomar o rito de sala de aula como aluno, focado na pesquisa de campo, leituras, apresentações de trabalhos, entre outras atividades inerentes ao convívio acadêmico, inicialmente as dificuldades pareciam não ter fim, porém, com o passar do tempo, e na descoberta de novos conhecimentos, o aprendizado passou a ser prazeroso.

A experiência de convívio possibilitou conhecer professores realmente empenhados em disseminar conhecimento aos seus alunos, de uma forma serena e agradável, nessa pequena jornada que, agradeço imensamente.

Ao professor João Carlos Souza, meu orientador, pela paciência, dedicação e incentivo demonstrado sempre que busquei ajuda;

A minha esposa e aos meus filhos, que estiveram sempre me apoiando nesta batalha;

Ao meu filho Marco Antônio pela ajuda na formatação da dissertação;

A professora Cláudia Regina Silveira, carinhosamente chamada de “doutora”, pela grande ajuda na revisão e formatação da dissertação;

Ao PósARQ e por acolher-me como aluno;

Agradeço também aos membros da banca, que com paciência e disponibilidade, contribuíram para a minha formação;

À secretária do curso, Ivonete, pela disposição em atender e tirar as dúvidas sempre.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar os processos e materiais para proteção térmica de edificações com estruturas metálicas de aço e o seu grau de influência nos projetos de arquitetura, assim como verificar, a partir de dados da internet, se nas grades curriculares dos cursos de Arquitetura e Urbanismo do Estado de Santa Catarina constam conteúdos de Segurança Contra Incêndios (SCI). Atualmente, a SCI tem se expandido consideravelmente, sendo considerada uma nova área da ciência, sempre na busca de investimentos em pesquisa, laboratórios, ensino, educação, desenvolvimento de *software*, entre outros. O crescimento acelerado das cidades, impondo soluções verticais nos projetos de edificações, tem levado pesquisadores a se preocupar com a segurança contra incêndios no mesmo nível de um projeto estrutural. Entretanto, o crescente uso de novos materiais que são introduzidos na construção tem possibilitado edificações mais seguras contra incêndios. As solicitações da NBR 14432/2001 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações, apontam para a escolha desses materiais que protegem contra as chamas e as altas temperaturas. Além de novos materiais de proteção térmica (materiais projetados, gesso acartonado RF, tintas intumescentes, entre outros), as alvenarias de blocos também são utilizadas, entretanto, as interações com o projeto de edificações que elas causam, para determinada solução, impõem acréscimos de área no ambiente, maior que as demais. Porém, tratando-se de acabamento (requinte estético), os materiais projetados, placas e mantas de lã de rocha, não são os mais recomendados, sendo que as placas de gesso acartonado, tintas intumescentes e as alvenarias de blocos de concreto ou cerâmico, possibilitam um acabamento mais esmerado.

A SCI é uma das ferramentas importantes na Educação, principalmente no meio acadêmico, gerador de profissionais responsáveis por planejarem uma edificação segura, contudo, percebe-se que o tema não é tratado de forma mais abrangente no Estado de Santa Catarina, conforme verificação nas grades curriculares dos cursos de arquitetura, segundo informações do Ministério da Educação e Cultura – MEC.

Palavras chave: Incêndios, proteção térmica, arquitetura.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the processes and materials used for the thermal protection of buildings with metal structures of steel and its influence on architectural design, as well as verify from the internet data if in the curriculum from the Architecture and Urbanism courses in State of Santa Catarina content Fire Protection (FP) is present. Nowadays, the FP has been expanded considerably, been considered a new area of science, always seeking investments in research, laboratories, education, development of software, among others. The fast growth of the cities, imposing vertical solutions in the projects of constructions, has taken the researchers to worry about the security against fires in the same level of a structural project. However, the increasing use of new materials introduced in the construction, has made possible safer constructions against fires. The requests of NBR 14432/2001 - Requirements of resistance to the fire of constructive elements of constructions, recommend the choice of these materials that protect the constructions against the flame and the high temperatures. Beyond new materials of thermal protection (materials projected, gypsum plasters fire resistant, blankets, intumescent coat, among others), the masonry blocks also are used, however, the interactions with the buildings design caused by that solution impose additions of area to the environment, greater than others. However, when related to finishing (aesthetic refinement), the projected materials, plates and blankets woollen of rock, are not recommended, and the gypsum plasters fire resistant, intumescent coat, and the masonry blocks are more indicated for a refined finishing.

The FP is one of the most important tools in the Education, mainly in the academic field, generating responsible professionals for thinking about a safe construction. On the other hand, it is perceptible that the subject is not dealt widely in the State of Santa Catarina, as verified in the curricular gratings of the thirteen courses of architecture, according to information of the Ministry of the Education and Culture - MEC.

Words key: Fires, thermal protection, architecture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Triângulo do fogo	46
Figura 2: Tetraedro do fogo	47
Figura 3: Fases de um incêndio associadas às características de reação ao fogo.	49
Figura 4: Madeira exposta ao fogo após 30 minutos.....	57
Figura 5: Madeira serrada suportando estrutura em vigas de aço colapsada após um incêndio.....	58
Figura 6: Túnel Gret Belt (1994).....	60
Figura 7: Cinema Cacique (1996).	60
Figura 8: Redução da resistência a compressão do concreto e resistência ao escoamento do aço em função da temperatura	61
Figura 9: Fases da sequência de eventos para o intumescimento da tinta.....	65
Figura 10: Curva temperatura – tempo de um incêndio real.	67
Figura 11: Variação dos fatores de redução para a resistência ao escoamento e o módulo de elasticidade dos aços com a temperatura.	68
Figura 12: Método do tempo equivalente.....	71
Figura 13: Custos comparativos entre proteções térmicas	81
Figura 14: Custos comparativos entre proteções térmicas	81
Figura 15: Casa Edith Farnsworth, Illinois, 1946-51.....	87
Figura 16: Instituto de Tecnologia de Illinois, Chicago, 1950-56	87
Figura 17: Edifício John Deere, Illinois, 1962-64	88
Figura 18: Center George Pompidou – Detalhe da tubulação de água que enche as colunas da estrutura	89
Figura 19: Proteções clássicas da estrutura de aço em incêndio.....	93
Figura 20: Redução da resistência ao escoamento em função da temperatura.....	95
Figura 21: Redução do módulo de elasticidade em função da temperatura.....	95
Figura 22: Distribuição de temperatura na seção transversal de um elemento de concreto exposto ao fogo nas 4 faces.	96
Figura 23: Piso tipo “Slim Floor”	97
Figura 24: Piso tipo “Steel Deck”	97
Figura 25: Divisão do comportamento de aço em perfil I para distribuição de temperatura (viga)	103

Figura 26: Pilares submetidos aos esforços de compressão simples, flambagem e flexão.....	113
Figura 27: Forma de aplicação de proteção térmica em pilares.	114
Figura 28: parcialmente integrado à parede de blocos	115
Figura 29: Pilar interno incorporado às paredes.....	116
Figura 30: Pilar incorporado parcialmente às paredes.	116
Figura 31: Pilar de fachada (linha) – interface com alvenaria (a), Pilar de Fachada (canto) – interface com alvenaria (b).....	118
Figura 32: Tipos de seções transversais de pilares mistos.	119
Figura 33: Seções transversais de pilares mistos – Cobrimento “c” ..	120
Figura 34: Pilares mistos – Execução da proteção térmica	120
Figura 35: Seção transversal de pilar misto parcialmente envolvido por concreto	121
Figura 36: Pilar misto parcialmente envolvido por concreto	122
Figura 37: Seções transversais de pilares mistos preenchidos por concreto	122
Figura 38: Pilar em perfi H protegido com blocos.....	123
Figura 39: Pilar em perfil H protegido com blocos, acabamento final.	124
Figura 40: Pilar parcialmente protegido blocos de concreto celular. .	124
Figura 41: Pilares de aço protegidos com pré-moldados de concreto.	125
Figura 42: Detalhe do componente confeccionado em pré-moldado leve.	125
Figura 43: Pilar interno inclausurado às paredes de GARF	126
Figura 44: Pilar interno, (a) enclausuramento com suporte, (b) enclausuramento sem suporte	127
Figura 45: Estruturas protegidas por painéis rígidos.....	128
Figura 46: Central dos Correios Santo Amaro - São Paulo, protegido com Argamassa projetada.....	129
Figura 47: Fibras projetadas.	130
Figura 48: Edifício Itaú Cultural na Avenida Paulista, protegido com tinta intumescente.	131
Figura 49: Esforços de compressão e tração em viga de perfil I	132
Figura 50: Forma de aplicação da proteção térmica em vigas.....	132
Figura 51: Viga com proteção térmica de concreto.	133
Figura 52: Viga / pilar protegido com placa de GARF.....	134
Figura 53: Placas de lâ de rocha	134

Figura 54: Mantas de lã de rocha – Tipo caixa - Centro de Treinamento do Banco do Brasil - DF	135
Figura 55: Fixação de lã de rocha – Tipo contorno	136
Figura 56: Mantas de fibra cerâmica.	137
Figura 57: Argamassa projetada, alisada (a) e pintada (b) - Itambé Adm. Condomínios - SP	138
Figura 58: Pintura intumescente.....	138
Figura 59: Dimensão da seção transversal da laje	140
Figura 60: Laje de concreto com forma de aço incorporada (steel deck)	140
Figura 61: Argamassa projetada - proteção térmica em laje de concreto com forma de aço incorporada (steel deck)	141

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Cursos de arquitetura e urbanismo em Santa Catarina	43
Tabela 2: Variação de temperatura das lajes de concreto de densidade normal	63
Tabela 3: Espessura efetiva mínima de laje.	64
Tabela 4: Blocos CCA - Resistência ao fogo.....	64
Tabela 5: Fatores de redução para o aço (NBR 14323/2003).	68
Tabela 6: Edificações isentas de verificação de resistência ao fogo.	74
Tabela 7: Espessura (mm) de Termosist G, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$	77
Tabela 8: Espessura (mm) da manta cerâmica para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$	77
Tabela 9: Espessura (mm) da placa de lã de Rocha para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$	78
Tabela 10: Espessura (mm) da placa de gesso acartonado – RF, para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$	78
Tabela 11: Espessura (mm) da película de tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de I, com quatro lados expostos ao fogo, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$	79
Tabela 12: Espessura (mm) da película de tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de I, com três lados expostos ao fogo, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$	79
Tabela 13: Espessura (mm) da película de tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de I, com quatro lados expostos ao fogo, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$	80
Tabela 14: Espessura (mm) da película de tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de I, com três lados expostos ao fogo, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$	80
Tabela 15: Espessura mínima de concreto acima da forma de aço.....	98
Tabela 16: Dimensões mínimas da seção transversal, cobrimento mínimo de concreto da seção de aço e distâncias mínimas dos eixos das barras da armadura à face do concreto.	100
Tabela 17: Cobrimento de concreto (c) com função apenas de isolamento térmico.	101
Tabela 18: Tintas intumescentes empregados no mercado brasileiro	109
Tabela 20: Materiais projetados empregados no mercado brasileiro	110
Tabela 21: Espessura efetiva mínima do concreto	139
Tabela 22: Dimensões mínimas para as lajes apoiadas em vigas (h^* - espessuras).....	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AECweb	Portal da Arquitetura, Engenharia e Construção – E-construmarket
CCA	Concreto Celular Autoclavado
GARF	Gesso Acartonado Resistente ao Fogo
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MEC	Ministério da Educação e Cultura
NBR	Norma Brasileira Registrada
NSCI	Norma de Segurança Contra Incêndios do Estado de Santa Catarina
SCI	Segurança Contra Incêndios
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
θ_{cr}	Temperatura crítica de colapso do aço

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	24
1.1 Considerações gerais	24
1.2 Justificativa e relevância do tema	27
1.3 Objetivos	30
1.3.1 Objetivo geral.....	30
1.3.2 Objetivos específicos.....	30
1.4 Estrutura da dissertação	30
1.5 Delimitação da pesquisa	31
CAPÍTULO 2: SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO.....	34
2.1 Educação e a Segurança Contra Incêndio	34
2.2 Formação do arquiteto e o projeto em estrutura metálica.....	37
2.3 Estrutura curricular dos cursos de arquitetura e urbanismo no Estado de Santa Catarina e a segurança contra incêndios	41
CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	46
3.1 Segurança contra incêndios: conceituação.....	46
3.1.1 Fumaça.....	50
3.1.2 Gases tóxicos mais comuns no incêndio e seus efeitos.....	50
3.2 Comportamento dos materiais – reação ao fogo	52
3.2.1 Madeira.....	56
3.2.2 Concreto.....	58
3.2.3 Concreto Celular Autoclavado (CCA)	64
3.2.4 Tinta intumescente	64
3.2.5 Placas rígida, semi-rígidas e mantas	65
3.2.6 Argamassas projetadas	66
3.3 Ação da temperatura em elementos estruturais em aço	66
3.4 Determinação do TRRF	69
3.4.1 Método Tabular	69
3.4.2 Método do tempo equivalente.....	71
3.5 Edificações isentas dos requisitos de resistência ao fogo – TRRF...	72
3.6 Obrigatoriedade de requisitos de resistência ao fogo em edificações - TRRF	75
3.7 Dimensionamento das espessuras do material de proteção térmica a partir de ensaios realizados em laboratórios.....	75

3.7.1 Carta de cobertura	75
3.7.2 Fator de massividade	76
3.8 Dimensionamento da proteção térmica por carta de cobertura – Forma reduzida	76
3.9 Custos de proteção térmica	81
CAPÍTULO 4: Materiais usados para proteção térmica	84
4.1 Contextualização histórica operacional	84
4.2 Proteção Térmica - Madeira.....	93
4.3 Proteção Térmica - Concreto	95
4.4 Outros tipos de proteção térmica	103
4.4.1 Tintas ignífugas não intumescentes	103
4.4.2 Tintas ignífugas intumescentes	104
4.4.3 Placas rígidas e semi-rígidas.....	105
4.4.4 Mantas cerâmicas ou de lã de rocha basáltica.....	105
4.4.5 Argamassas projetadas “cimentitious”	106
4.4.6 Argamassas com fibras projetadas.....	107
4.4.7 Gesso acartonado resistente ao fogo (GARF).....	108
4.5 Produtos para proteção térmica disponível no mercado brasileiro	108
4.5.1 Tintas ignífugas intumescentes	109
4.5.2 Placas rígidas e semi-rígidas.....	109
4.5.3 Materiais projetados	110
CAPÍTULO 5: PROTEÇÃO TÉRMICA EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO E O PROJETO DE EDIFICAÇÕES	112
5.1 Proteções térmicas – Arranjos e soluções.....	112
5.2 Proteção térmica em elementos estruturais	112
5.2.1 Pilares.....	112
5.2.2 Vigas	132
5.2.3 Lajes.....	139
CAPÍTULO 6: ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	144
6.1 Análise	144
6.1.1 Proteção térmica.....	144
6.2 Discussão dos resultados	145
6.2.1 Proteção térmica.....	145
6.2.2 Educação e segurança contra incêndios (SCI)	146
CAPÍTULO 7: Conclusões e Recomendações	150

7.1 Conclusões	150
7.2 Recomendações para desenvolvimentos de trabalhos futuros....	152
REFERÊNCIAS	154
APÊNDICES.....	162
ANEXOS	168

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O desenvolvimento da humanidade, desde os mais remotos tempos, foi e continua sendo submetido a constantes desafios, testando sua capacidade de sobrevivência. A descoberta do fogo, um importante aliado na evolução e perpetuação da espécie, alterações nos hábitos alimentares, relação homem e meio ambiente, forja do aço e proteções das edificações foram componentes indispensáveis para a evolução humana.

O fogo, força provocada por reação exotérmica de oxidação, libera energias importantes para os mais diversos usos no dia a dia, porém, toda energia descontrolada pode causar enormes desastres com grandes prejuízos com perdas patrimoniais e a vida.

Incêndio é todo fogo descontrolado que se propaga destruindo ou danificando tudo o que atinge. Segundo Seito *et al.* (2008), grandes desastres aconteceram ao longo da história provocados por incêndios: Roma (64 a.C), Lyon (59 a.C.), Biblioteca de Alexandria (47 a.C), Londres em várias épocas, Nova Iorque (1835), entre outros. No Brasil, os mais significativos são: Edifício Andraus, São Paulo em 1972 com 16 mortos e; Edifício Joelma, também em São Paulo em 1974, com 189 mortos.

Acontecimentos desastrosos causados por incêndios ao longo da história propiciaram a criação de mecanismos legais, impulsionados pela necessidade de construir ambientes seguros. Assim a prevenção, combate e Segurança Contra Incêndios (SCI) em edificações foi evoluindo.

De acordo com Smith (2009), as cidades estão crescendo a uma taxa sem precedentes através do globo. Estruturas altas acomodam populações maiores sobre bases menores, criando vizinhanças amigáveis pelas quais se pode andar, encorajando o uso do transporte público, melhorando a qualidade de vida.

A ocupação dos centros urbanos, a densificação dos espaços e sua expansão territorial, são desafios a ser vencidos, quando o assunto é SCI. Construções de edifícios altos principalmente de ocupação residencial ou comercial podem ser a solução para as grandes cidades, porém, o risco de incêndios não deve ser desprezado, para que não se repitam casos como dos edifícios Andrus e Joelma.

O conceito de edificação segura contra incêndios influencia a forma de pensar em arquitetura, independente de se tratar de uma edificação térrea ou edifício alto. Além disso, a necessidade de prever proteções (anti-incêndio) dos elementos estruturais nos projetos de edificações passa a ser exigência nas aprovações de projeto de SCI.

Corpo de Bombeiros Militar de alguns Estados, em se tratando de segurança estrutural das edificações, além de atenderem à exigência da NBR 14.432/2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimentos, Tabela A.1, acrescentam outras solicitações que não estão contempladas em norma. Exigem que, para resguardar essas estruturas da severidade da temperatura, em situação de incêndio (que podem alcançar valores consideráveis em um pequeno intervalo de tempo) e garantir a segurança estrutural, devem-se protegê-las com barreiras anti-incêndio, evitando que a temperatura de colapso ou temperatura crítica, seja atingida. Levando-se em conta, preventivamente, todas as consequências para os diversos sistemas que compõem uma edificação, devem ser previstas, ainda, na concepção do projeto de arquitetura, todas as medidas que possam contemplar a SCI na Edificação.

Segundo Ono (2007), a importância do conhecimento mais amplo de uma edificação segura contra incêndios pode resultar em alternativa viável, que traduza os conceitos mínimos necessários em uma obra, funcional, estética e segura, sem que a criatividade possa ser afetada e comprometida.

Ressalta-se que as medidas de SCI introduzem um custo adicional à edificação, tanto em sua construção como durante o seu uso. Contudo, incorporando essas medidas já na concepção do projeto, é possível torná-las mais efetivas a um menor dispêndio financeiro.

A verticalização das construções, em ritmo cada vez mais intenso, tem levado pesquisadores a se preocupar com a SCI no mesmo nível de um projeto estrutural e cuja estabilidade da construção é elemento vital para a obra. Em caso de incêndios, a estabilidade pode ser comprometida a ponto de vir a colapso.

O crescente desenvolvimento e pesquisa de materiais que são incorporados na construção de forma ampla, introduzidos em elementos que participam no processo construtivo oriundo dos principais grupos de materiais (metais, polímeros e cerâmicos – VAN

VLACK, 1984) ou introduzidos em forma associativa na construção (aditivos, fibras entre outras) são realidades na concepção e execução de projetos de edificações. Essas tecnologias em muito têm auxiliado o processo construtivo, possibilitando agregar à arquitetura valores necessários à segurança, conforto, acabamento, e lazer.

O estudo sobre SCI é de grande importância, pois o risco de incêndio é praticamente inerente a todas as atividades, domiciliares, comerciais e industriais, resultando, como consequência, em danos materiais de monta e (danos patrimoniais) ou acidentes pessoais graves, podendo levar até à morte.

A importância de combate ao incêndio desde seu início, evitando que ele se espalhe, é o melhor procedimento a ser adotado. A experiência dos que combatem o fogo já demonstrou uma verdade que deve ser aceita por todos: a grande maioria dos incêndios poderiam ser evitados, controlando-os em seu início. Pessoas certas, tomando providências corretas no momento adequado, evitam, ou impedem que um princípio de incêndio se transforme em destruição completa. Por isso, é fundamental prevenir o início de um incêndio; no entanto, se ele acontecer, é necessário combater o fogo com rapidez e eficiência. Para isso, é preciso ter mentalidade e espírito preventivos. Logo, para combater o fogo, é necessário que haja equipamentos de combate, em locais devidamente sinalizados e localizados, de conhecimento de todos; além disso, é indispensável que todos saibam como utilizá-los, e é preciso conhecer o inimigo que se pretende combater e eliminar.

Nesse cenário, verifica-se que a formação de arquitetos e de engenheiros tem dado pouca ênfase à SCI nas edificações. Isso tem levado à prática com baixa exigência em relação ao controle do risco de incêndio (SEITO *et al.* 2008).

Considerando arquitetura como obra pronta e acabada, cuja aparência não é o único elemento na construção (típica dos templos da Grécia antiga), e que a integração de várias instalações, respaldadas pela informática, eletrônica, robótica, micro eletrônica, química avançada, entre outras, torna-se imprescindível, a sua integração à arquitetura, não sendo possível dissociá-la da edificação. Por isso, é de fundamental relevância que todo esse potencial que envolve os projetos complementares, com aplicações de técnicas e uso dos

materiais seja assimilado pelos estudantes de arquitetura na sua caminhada de aprendizado.

Conhecer e tirar partido de uma linda textura de determinada madeira, entender sua estrutura e resistência às várias solicitações é tão importante como saber protegê-la das chamas e, inclusive, salvaguardar sua estabilidade em caso de incêndio.

Saber como utilizar o elemento concreto nas mais variadas aplicações, como protegê-lo dos aspectos patológicos e das altas temperaturas, verificar alterações das seções e cobrimento de armadura, entre outros, é imprescindível para fazer frente às solicitações de combate ao incêndio.

Dessa forma, manter a estabilidade estrutural do edifício por um tempo determinado, conhecido como Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), assim como resguardar os elementos isolados (móveis, equipamentos e outros), componentes que integrem a construção habitada, justificam todas e quaisquer ações que possam ser incrementadas na proteção térmica de elementos estruturais, evitando, assim, a propagação do incêndio e o colapso estrutural.

Nessa visão, é imprescindível afirmar que todo o profissional da área de projeto de edificações, principalmente o arquiteto, responsável pelo controle no processo, possui o importante papel de viabilizar a prevenção contra incêndios na fase inicial, que culminará no projeto final de arquitetura.

1.2 Justificativa e relevância do tema

As edificações que se enquadrarem nas recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da Norma Brasileira Registrada (NBR) 14432/2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimentos - devem proteger os elementos estruturais com materiais de proteção térmica capazes de garantir a resistência ao fogo e manter a segurança estrutural. Conforme as características da edificação, contempladas na Tabela A-1 da referida norma, disponibiliza o TRRF em minutos, em que os elementos construtivos devem resistir ao fogo. O Anexo A (normativo), acrescenta outras informações pertinentes à edificação relativas a pavimentos, carga de incêndio, entre outras, assim como o

Anexo B que disponibiliza informações da classificação das edificações quanto à sua ocupação.

A NBR 14432/2001 não especifica o tipo de material do elemento construtivo, porém, se for aço, concreto ou madeira os mesmos devem resistir às ações do fogo e das altas temperaturas.

Esses materiais utilizados nos elementos estruturais construtivos, em determinadas situações podem resistir aos efeitos causados por incêndio, sem a necessidade de proteção térmica adicional, porém, o custo dessa solução pode ser inviabilizado, principalmente em componentes estruturais de aço.

Em projetos de edificações com estrutura metálica, principalmente por perder resistência quando submetido a temperaturas em situação de incêndio, o aço deve ser protegido por materiais de proteção térmica.

As interações desses materiais de proteção (proteção térmica) no projeto de edificações dependem do TRRF em que a edificação estiver enquadrada. Consequentemente, esse TRRF exigido na Tabela A-1 da NBR 14432 (ABNT, 2001), pode ser obtido através da discriminação de diversos materiais ensaiados em laboratórios nacionais e estrangeiros, que apresente resultados analisados por meio de equação empírica, indicando a espessura do material de proteção térmica, considerando uma temperatura preestabelecida e elaborada uma Carta de Cobertura, fornecendo os dados técnicos correspondentes aos TRRF solicitados.

Materiais de proteção térmica indicados em cartas de coberturas ou através de cálculos, dependendo da solução adotada pelo arquiteto podem influenciar no projeto de edificações, nas espessuras de revestimentos, texturas e acabamento.

Quando da proteção térmica de elementos estruturais em aço, tais como, pilares, vigas e lajes, as soluções podem ser as mais variadas possíveis. Revestimentos projetados podem apresentar texturas e espessuras desuniformes e, dependendo da localização do elemento que deverá ser revestido, pode não apresentar um acabamento satisfatório. Revestimentos em placas de Gesso Acartonado Resistente ao Fogo (GARF) ou fibrosilicato autoclavado apresentam bom acabamento, porém, baixa resistência a impactos, como os materiais projetados, e aumento dimensional no elemento revestido. Pinturas

intumescentes apresentam bom acabamento, porém, custo elevado se comparado aos sistemas acima.

Revestimentos térmicos que são aceitos como solução de proteções em elementos estruturais têm uma considerável influência no acréscimo dimensional, principalmente em pilares que recebem revestimento de alvenaria em tijolos maciços, blocos de concreto convencional ou celular.

Todo projeto de edificações, que por obrigatoriedade de norma (NBR 14432/2001) deve prever proteção térmica dos elementos construtivos em aço em situação de incêndio, deverá pesquisar soluções prévias na fase de elaboração do projeto da edificação, frente às solicitações. Soluções de projeto que não contemplam indicações normativas comprometem a segurança estrutural da edificação.

Quando o projeto da edificação for executado sem as indicações normativas, maiores serão os transtornos para deixá-los protegidos, tais como, acréscimos dimensionais, dificuldades de execução para determinados revestimentos térmicos como, por exemplo, argamassa ou fibra projetada, entre outros.

A grande dificuldade da elaboração de um projeto de edificação que contemple exigências da segurança contra incêndios está na formação acadêmica dos profissionais. Segundo Seito *et al.* (2008), os currículos dos cursos de arquitetura e engenharia têm um conteúdo extenso e apertado, não possibilitando transmitir outros conhecimentos. Assim é necessária uma profunda reformulação para que o conteúdo SCI seja absorvido.

A SCI por ser considerada como uma nova área da ciência, necessita investimentos em pesquisa, desenvolvimentos de laboratórios, ensaios treinamento e educação comportamental nas escolas frente ao incêndio, entre outras. (SEITO *et al.* 2008).

É grande a dificuldade de integrar SCI nos projetos de edificações. Profissionais que atuam há mais tempo no mercado de trabalho, na maioria das vezes, integram sistemas de segurança contra incêndios com mais facilidades.

Nesse contexto, este trabalho se justifica por alertar sobre a necessidade de uma maior aproximação com a realidade do que é exigido pelas normas nacionais e estrangeiras, e do que vem sendo apresentado nos currículos dos cursos de arquitetura, em se tratando

do assunto SCI, principalmente, quando se refere à obrigatoriedade de proteção térmica de estruturas metálicas em edificações.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar os processos e materiais para proteção térmica de edificações com estruturas metálicas de aço e o seu grau de influência nos projetos de arquitetura.

1.3.2 Objetivos específicos

a) Indicar quais os principais sistemas de proteção térmica para estruturas de aço existentes no mercado nacional e seus processos de aplicação em obra.

b) Examinar o nível de interferência dos sistemas de proteção térmica de estruturas metálicas no projeto de edificações.

c) Verificar, a partir de dados da internet, as grades curriculares dos cursos de arquitetura e urbanismo do Estado de Santa Catarina e constatar se apresentam conteúdos de segurança contra incêndios.

1.4 Estrutura da dissertação

A estrutura dessa dissertação apresenta seis etapas:

a) A primeira etapa consiste em uma pesquisa realizada nos cursos de arquitetura e urbanismo no Estado de Santa Catarina; ela visa a verificar a existência de disciplina de SCI e inclusões de informações relativas à prevenção contra incêndios nas grades curriculares, que possibilitem uma melhor compreensão do projeto de edificações.

b) Na segunda etapa, é realizada uma revisão bibliográfica, apresentando uma estruturação de vários assuntos importantes, na conceituação de segurança contra incêndios, onde são abordados o comportamento dos materiais e suas reações ao fogo, ações da temperatura em elementos estruturais em aço, métodos para determinação do TRRF, requisitos de proteger ao não, a edificação com proteções térmicas, dimensionamentos dos materiais de proteção térmica, assim como custo aproximado dos vários sistemas de proteção térmica oferecidos no mercado brasileiro.

c) A terceira etapa é composta de uma pesquisa e análise documental sobre materiais para proteção térmica, suas características e reações de resistência ao fogo e a utilização em estruturas metálicas nas edificações e seu desempenho frente ao TRRF, conforme recomendações normativas da ABNT e do Corpo de Bombeiros. Esta pesquisa dos sistemas de proteção térmica tem como foco principal, o levantamento dos materiais disponíveis no mercado brasileiro e seus processos de aplicações.

d) A quarta etapa trata da proteção térmica em elementos estruturais de aço (lajes, vigas e pilares) e o projeto de edificações, com atenção especial aos arranjos e soluções nas edificações em construção ou, já construídas e ocupadas, onde são examinadas as interferências nos elementos internos e externos à edificação, seus aspectos dimensionais e o acabamento que cada sistema propicia.

e) Na quinta etapa são transcritas a análise e discussão dos resultados do grau de influência dos sistemas de proteções térmicas em projetos de edificações, com estruturas metálicas em aço e verifica a abordagem de segurança contra incêndios, apresentados nos cursos de arquitetura do Estado de Santa Catarina.

f) A sexta etapa, enfim, apresenta os dados coletados nas etapas anteriores: ensino de arquitetura e urbanismo e a segurança contra incêndios, revisão bibliográfica, materiais utilizados para proteção térmica, em elementos estruturais de aço e o projeto de edificações, análise e discussão dos resultados e finalmente, as conclusões e recomendações.

1.5 Delimitação da pesquisa

Considerando a extensão do assunto e as interações de proteções térmicas em elementos estruturais utilizados nos processos construtivos, compostos de vários materiais, a pesquisa limitou-se às proteções térmicas dos elementos em aço e à influência nos projetos de edificações.

Elaborar projetos, prevendo alternativas de proteção contra chamas e calor em elementos estruturais de edificações, é uma necessidade importante, que o arquiteto deve contemplar na elaboração de projetos de edificações.

Levando-se em conta que a presente pesquisa tem como foco principal a proteção térmica em elementos estruturais em aço (vigas, lajes e pilares) sujeitos às altas temperaturas em situação de incêndio e a sua interação com o projeto de edificação, faz-se importante salientar que a proteção térmica dos elementos construtivos em concreto e madeira não foi tratada com profundidade no presente trabalho.

Ainda é válido destacar que não foi feito um estudo de caso. Somente foram tratadas as possibilidades de proteções térmicas e suas influências nos projetos de edificações.

Finalmente, torna-se necessário indicar que a análise financeira dos custos de aplicações e manutenções das proteções térmicas não serão objeto desta pesquisa; fez-se apenas uma estimativa dos valores (R\$) por m² de cada sistema.

CAPÍTULO 2: SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO

2.1 Educação e a Segurança Contra Incêndio

Lamentáveis acontecimentos no decorrer da história, provocados por incêndios, impulsionaram um conjunto de medidas e ações legais, estimulados pela necessidade de edificar construções seguras, obrigando o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias, a criar uma nova mentalidade de se pensar e agir na prevenção e combate contra incêndios.

Em países desenvolvidos, essa preocupação SCI já vem sendo observada desde muito tempo. No Brasil, somente, após os acontecimentos desastrosos, principalmente, com os incêndios nos edifícios Andraus (1972) e Joelma (1974), a comunidade acadêmica foi alertada para a necessidade de criação de mecanismos legais que pudessem fazer frente a essa necessidade premente.

Rosso (1975) após o sinistro do Edifício Joelma, comenta:

[...] torna-se iminente a necessidade de fusão entre medidas normativas e o processo de concepção do projeto de edificações, de maneira a potencializar o fator de segurança nas edificações no que tange à proteção estrutural e de bens, assim como na salvaguarda de vidas, aliados aos aspectos de habitabilidade. (ROSSO, 1975).

De acordo com Ono (2007), o trabalho de Rosso (1975) resultou numa apostila intitulada “Incêndio e Arquitetura”, que serviu de base para a formação de duas gerações de pesquisadores na área de segurança contra incêndio. Infelizmente, Rosso não conseguiu defender sua tese, devido ao seu falecimento, em 1975. Tal fato, possivelmente impossibilitou que se desse, naquele momento, o primeiro grande impulso para a integração entre a arquitetura e a segurança contra incêndio no meio acadêmico, com a inserção do tema no ensino e na pesquisa. No entanto, o Laboratório de Segurança de

Fogo do IPT tem se mantido, desde então, atuante na área, ampliando sua capacitação técnico-laboratorial, gerando produção técnica e contribuindo para a formação de pesquisadores.

A mesma autora defende a ideia de que as regulamentações existem para garantir que o nível mínimo de segurança seja exigido e atendido. No entanto, nem sempre a exigência se traduz numa boa solução de projeto, principalmente se o projetista não domina os pressupostos que levaram à criação daquele requisito. Por outro lado, sem a compreensão conceitual das exigências, o arquiteto também não possui ferramentas para propor soluções alternativas de projeto que resultem numa edificação igualmente, ou até mais, segura e estética/funcionalmente satisfatória, tolhendo, assim, a liberdade criativa. Conclui que é importante lembrar que não há, no Brasil, informações técnicas voltadas ao tema e dirigidas aos arquitetos e estudantes de arquitetura, criando, assim, uma lacuna a preencher, tanto com a sistematização das informações disponíveis no Brasil e no exterior, como com a discussão de sua adequabilidade e importância.

Segundo Seito *et al.* (2008), as perdas com incêndios nos países que adotam uma postura severa na questão da prevenção, têm diminuído significativamente em relação ao PIB; o ensino, em todos os níveis da educação e em todos os períodos escolares, recebe pelo menos um dia em que a SCI é enfocada. No ensino superior, são mantidos mais de cinquenta cursos de graduação e pós-graduação em engenharia de proteção contra incêndios.

A educação é considerada a chave para a prevenção e proteção contra incêndios. Existe uma infinidade de encontros e programas de educação visando à conscientização para a prevenção e proteção contra incêndios.

O mesmo autor argumenta que os currículos dos cursos de arquitetura e engenharia têm um conteúdo extenso e apertado, não permitindo absorver outros conhecimentos, sendo necessária uma profunda reformulação para que a SCI seja absorvida.

Nesse cenário, verifica-se que a formação de arquitetos e de engenheiros tem dado pouca ênfase para a SCI nas edificações, isso tem levado às práticas com baixa exigência em relação ao controle do risco de incêndio.

Seito *et al.* (2008) comentam:

“Caso se decidisse implantar cursos de SCI em todos os cursos de arquitetura e engenharia, seria um desastre, pois não existem quadros de professores suficientes para ministrar tais cursos. Existem apenas alguns professores orientando alunos de pós-graduação nessa área de conhecimento. (Seito *et al.* 2008, p.10).

De acordo com Ono (2007), é primordial a criação, no País, de uma massa crítica de profissionais que compreenda melhor as implicações que podem ter as medidas de proteção contra incêndio quando aplicadas de forma inadequada. São necessários profissionais que tenham uma leitura crítica das regulamentações existentes, sejam elas prescritivas ou baseadas no conceito de desempenho, de forma que se exija, cada vez mais, que estas sejam aprimoradas para atender às necessidades da sociedade.

Normas e regulamentações têm sido aprimoradas visando à melhoria das condições de segurança contra incêndio das edificações, principalmente capitaneadas pelos Corpo de Bombeiros. Entretanto, é diminuta a participação dos pesquisadores de instituições de ensino e pesquisa e pouca tem sido a participação dos atores principais dentro desse cenário: os arquitetos e engenheiros civis, responsáveis pela aplicação de novas tecnologias, concepção dos espaços dos edifícios, pela discriminação de seus materiais e pela execução das obras, que garantam, efetivamente, a inserção das medidas de SCI.

Normalmente, o arquiteto tem obrigação de definir as medidas de proteção passiva¹ e também deve ter noções básicas dos princípios da proteção ativa², pois somente assim, pode garantir que os sistemas não sejam instalados de forma inadequada, prejudicando o seu projeto de SCI como um todo.

¹ Conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício, sendo funcional durante o uso normal da edificação e que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo, facilitando a fuga dos usuários, a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate.

² Tipo de proteção contra incêndios que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndios.

Conforme Seito *et al.* (2008), usufruir dessas tecnologias significa conhecer o mínimo necessário para se propor soluções que atendam ao anseio. É importante para o arquiteto entender essa evolução diária de integrar em projetos de edificação tais tecnologias, que de muito têm passado de forma despercebida nas constantes avaliações de programas curriculares nos cursos de arquitetura.

2.2 Formação do arquiteto e o projeto em estrutura metálica

Se há grandes dificuldades de se projetar uma edificação que contemple os requisitos de segurança contra incêndios em estruturas de concreto armado usualmente conhecida pelo meio acadêmico, nos cursos de arquitetura, nas estruturas metálicas, acrescentam-se outros fatores, que tornam os projetos de edificações com diferentes formas de interrelações, às vezes de difícil compreensão, para os que não estão familiarizados com esse sistema. Um importante fator a ser considerado nesse processo refere-se à formação específica de profissionais da construção civil, na área de segurança contra incêndio. No Brasil, o arquiteto, assim como o engenheiro civil, tem pouco ou nenhum acesso às informações relativas à problemática do incêndio durante os cursos de graduação, ficando a sua iniciação nessa área a cargo da vivência profissional, muitas vezes com graves lacunas conceituais, ou em cursos de pós-graduação, buscadas após anos de atuação no mercado. Sabe-se que, infelizmente, são poucos os profissionais de arquitetura e engenharia civil que dominam o assunto, a ponto de tê-lo como uma ferramenta de auxílio na elaboração e detalhamento de um projeto de edificações.

Segundo Seito *et al.* (2008), em 1796, o engenheiro Charles Bage criou o chamado “edifício à prova de incêndios”, utilizando o ferro fundido, (liga de ferro em mistura fundida com elementos a base de carbono e silício), no lugar das vigas e pilares de madeira e um arco de tijolos não-combustíveis como piso; assim, estimulou o desenvolvimento de novas formas construtivas nos anos seguintes. O primeiro edifício estruturado em ferro fundido dos Estados Unidos foi o edifício da “The Home Insurance Company”, em Chicago. Esse edifício, concluído em 1885, já utilizava em suas lajes perfis metálicos imersos em concreto e blocos cerâmicos para sua proteção contra o fogo.

Segundo Addis (2009), o aço começou a substituir o ferro forjado (conhecido como ferro batido, o qual possui uma pequena quantidade de carbono – não mais que 0,15%, mas geralmente possui escórias em sua composição), primeiro na indústria ferroviária, mais tarde, em caldeiras de alta pressão para máquinas a vapor e, por fim, do início da década de 1870 em diante, na indústria da construção civil.

As propriedades do aço (liga metálica constituída fundamentalmente de ferro carbono, porém, outros elementos podem ser incorporados), principalmente a ductilidade (capacidade do material de se deformar sob ação de cargas antes de se romper), que é uma característica mais importante dos materiais estruturais, possibilitaram a visualização de grandes deformações em peças estruturais submetidas a tensões muito elevadas que propiciou, no século XIX, construções de edificações de múltiplos andares.

Toscano³ (2008), ao ser interrogado sobre a dificuldade da migração do pensar arquitetônico do concreto para o aço, afirmou que não seria difícil imaginar os temores que assaltam um arquiteto que, tendo trabalhado por quase três décadas com o concreto, seja instado a repensar o seu repertório em função de um novo material, o aço. Mas aquilo que empresta contemporaneidade à obra de um arquiteto é o fato de ele se mostrar aberto à apropriação de novas técnicas e fazer com que a ciência do cálculo se ponha à sua disposição para a conquista de outras formas de construir.

Da experiência foi possível tirar uma importante conclusão, que já se esboçava em muitas das reflexões realizadas nesta pesquisa: o arquiteto trabalha no sentido de encontrar sua própria linguagem, ainda que submetido a influências diversas, e projeta de modo a acrescentar sempre novas soluções - que é o que caracteriza a arquitetura como atividade essencialmente criadora. No entanto, há uma constante no seu trabalho, que consiste, precisamente, no caráter dos espaços que produz, nas relações que estabelece neles. Essa

³ O arquiteto João Walter Toscano tem desenvolvido por mais de quatro décadas, projetos envolvendo educação, transporte público, residências, campi universitários, bem como intervenções ligadas a espaços relacionados com o patrimônio urbano. Vários projetos já implantados na malha de transportes urbanos da cidade de São Paulo, estações de trem e metrô, terminal rodoviário, intervenções em áreas ou edifícios tombados como a Estação da Luz e a Praça do Monumento do Ipiranga. Sua obra tem obtido reconhecimento nacional e internacional em congressos e amostras de Arquitetura.

constante independe de materiais ou sistemas construtivos que podem caracterizar uma linguagem mais específica, mas está plenamente inserida na sua concepção do espaço.

Toscano (2008) ressalta:

Ainda que valha a pena fazer algumas referências sobre a história das estruturas metálicas no Brasil. Distinguem-se três fases no desenvolvimento de estruturas, especificamente aquelas em aço. A primeira é a da importação, que abrange desde o final do século 19 até pouco antes da Segunda Guerra Mundial, na qual o Brasil importou grande número de estruturas projetadas e fabricadas no exterior, em particular de pontes ferroviárias. A segunda, da omissão, corresponde ao período da Segunda Guerra, marcado não só pelas dificuldades de importação, como pela produção insuficiente da indústria nacional, e a consequência foi a grande expansão das estruturas de concreto armado, que ocuparam o campo, geralmente favorável às metálicas. E a terceira fase é a da nacionalização, inaugurada com a implantação da Companhia Siderúrgica Nacional, em Volta Redonda. Inicia-se, então, a produção de chapas, em 1946, e perfis, em 1952, com a Fábrica de Estruturas Metálicas, a FEM (TOSCANO, 2008, p. 54).

Zanettini⁴ (2010) indica que “na arquitetura do mundo inteiro, não há nada mais significativo do que o aço. É uma solução tecnológica

⁴ Arquiteto e urbanista formado pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo – FAU/USP, em 1959, Siegbert Zanettini pertence à primeira geração de professores doutores da FAU/USP e soube aliar conhecimento teórico à prática profissional desde sua formação, no final da década de 1950. São mais de 50 anos de profissão com rica experiência, tanto de mercado, como acadêmica. Ao longo dos anos, acumula dezenas de premiações nacionais e internacionais, além de ter os seus projetos como alvo de pesquisas de profissionais e estudantes de todo o Brasil.

avançada, limpa e que pressupõe os mais variados desenhos para aeroportos, galpões, arenas, entre outros espaços.”

Precursor das estruturas em aço, o arquiteto Zanettini, pesquisador acadêmico, comemora 50 anos de trabalho, período em que produziu 1200 projetos, e define a arquitetura de seus 50 anos de trabalho: “em resumo, a arquitetura do século 21, é representada pelo equilíbrio entre o mundo racional e o mundo sensível, de um lado toda a ciência – o pensamento construído pelo homem ao longo dos tempos – e, de outro, o pensamento criador. Esse equilíbrio é fundamental para uma arquitetura de alto desempenho e qualidade. Em outras palavras: “é a união da tecnologia e da criação do espaço”.

O mesmo autor, acerca de seu interesse pelo sistema construtivo em aço, relata: já em 1968, quando os trilhos de bonde estavam sendo retirados da cidade de São Paulo, faziam-se treliças com esse material para coberturas metálicas industriais. Não havia siderúrgicas produzindo no país e, mesmo não sendo material mais adequado, fazia com o que tinha disponível. Era uma tecnologia que o mundo já vinha utilizando desde o início do século 20 e, aqui, nada era feito de aço. Entendia que o aço era um caminho a ser desenvolvido, assim como a madeira e o concreto, e que o aço não podia ser comparado à robustez da pedra, utilizada para construção dos templos gregos – pedra sobre pedra. O aço também não é madeira, que tem uma outra linguagem de sistema construtivo e nem é concreto, com sua plasticidade moldável. O aço é uma solução tecnológica avançada, limpa, os projetos de estádios propostos para a Copa de 2014, por exemplo, com exceção de um que é errôneo, são feitos em aço. Para fazer em concreto seria preciso utilizar fôrmas de madeira que, depois, se transformariam em lenha, o que é insustentável. Zanettini (2010), conclui:

[...] falta de interesse ou de preparo dos profissionais. As escolas não ensinam aço, tanto as de arquitetura como as engenharias. Lecionei durante 40 anos na FAU, Poli e Mackenzie em

curso optativo sobre o assunto. Há 20 anos, não tinha disciplina, nem conhecimento e, portanto, não tinha obra em aço. Os profissionais que se formaram na era do concreto são os concretistas que trabalham com esse sistema. (ZANETTINI, 2010).

O sistema de construção em aço tem a sua forma lógica de trabalhar para a condição arquitetônica e espacial mais correta, envolvendo diversos detalhamentos construtivos, dentre os quais, a proteção térmica, que desempenha um papel importante nesse sistema. A busca insistente para compor uma solução harmoniosa de fácil execução, menor interferência no projeto de edificações e com custo comparativamente baixo, deve ser motivo de atenção dos arquitetos.

2.3 Estrutura curricular dos cursos de arquitetura e urbanismo no Estado de Santa Catarina e a segurança contra incêndios

As estruturas curriculares dos cursos de arquitetura, de forma geral, apresentam lacunas consideráveis, quando o assunto é segurança contra incêndios, principalmente, ao tratar-se de estruturas metálicas. A deficiência em que o tema é tratado, não somente em estruturas de aço, mas também, em estruturas de concreto, impossibilitam ao arquiteto conceber projetos de edificações, que atendam às necessidades de uma obra segura, quando submetida a incêndio.

Carvalho⁵ (2010), em entrevista ao Portal da Arquitetura, Engenharia e Construção – E-construmarket - AECweb, tratando do tema “Arquitetura brasileira: um triste cenário”, ao ser indagada sobre a perda de espaço do arquiteto no mercado imobiliário, e como isso se revela, responde:

Essa perda de espaço pode ser constatada na defasagem que existe entre o que se discute nos meios acadêmicos e o que se faz no mercado

⁵ Professora livre-docente, Mônica Junqueira de Carvalho, leciona a disciplina História da Arquitetura Contemporânea na faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP.

imobiliário. De um modo geral, essa arquitetura é criticada nos meios acadêmicos que não reconhecem o que é construído como boa arquitetura. Algumas questões se colocam: nós estamos ensinando para quem? As pessoas saem da faculdade e estão indo trabalhar aonde? Considero que existe um divórcio entre o que se faz lá fora e o que se fala na academia. [...] (CARVALHO, 2010).

Constata-se essa separação, mais acentuadamente do que expõe Carvalho (2010), quando o assunto tratado é SCI nos cursos de arquitetura, do Estado de Santa Catarina. Não há disciplina que trate com exclusividade do tema SCI, conforme Tabela 1 e Apêndices C, como as disciplinas de projeto de arquitetura e urbanismo, conforto ambiental, topografia, entre outras.

Tabela 1: Cursos de arquitetura e urbanismo em Santa Catarina

	Instituição	Disciplina de SCI na Matriz Curricular	Informações de Segurança contra incêndios (SCI) nos Ementários	Fonte
1	UFSC (F.polis) 1996-1	Não	4ª Fase – ECV5643 – Instalações Prediais (60 h/a – 4c) Instalação de gás [...] 5ª Fase – ECV5644 – Instalações Prediais (45 h/a – 3c) [...] Instalações para prevenção contra incêndio.	1
2	UDESC (Laguna)	Não	6ª Fase – Instalações Prediais e Urbanas (72 h/a – 4c) [...] e combate a incêndios. Instalações de gás.	2
3	UNISUL (Tubarão e F.polis)	Não	Não informado no site	3
4	UNIVALI (B. Camburiú)	Não	7ª Fase – Instalações e Equipamentos (60 h/a – 4c) [...] Instalação de gás.	4
5	FURB (Blumenau)	Não	5ª – Fase – ECV. 0047.00-4 Instalações Hidráulicas (3c) [...] Instalações de gás.	5
6	UNOESC (Xanxerê e São M. do Oeste)	Não	5ª Fase – Instalações Hidrossanitárias (45 h/a – 3c) [...] sistemas de prevenção e combate a incêndios.	6
7	UNESC (Criciúma)	Não	Não informado no site	7
8	UNOCHAPECÓ (Chapecó)	Não	Não informado no site	8
9	UNERJ (Jaraguá do Sul) 2008-2	Não	4ª – Fase - AU53 - Tecnologia da Arquitetura E Urbanismo II: Instalações Hidráulicas (40 h/a) [...] Instalações de gás. [...] Sistemas preventivos de incêndios.	9

Continuação Tabela 1

10	TUPY-IST-IST (Joinville) 2009	Não	7ª Fase - AU155 - Instalações prediais hidráulico-sanitárias e de gás (40 h/a) [...] Instalações prediais de combate a incêndio. Instalações prediais de gás combustível.	10
11	FA-AA (F.polis)-2004	Não	Não informado no site	11
12	UNC (Curitiba)	Não	Não informado no site	12
13	FACC (Concórdia)	Não	Não informado no site	13

- 1 http://www.arq.ufsc.br/downloads/curriculo_19961.pdf. Acesso em: 14 de junho, 2010.
- 2 <http://www.ceres.udesc.br/resolucoes/PPPArquitetura.pdf>. Acesso em: 14 de junho, 2010.
- 3 <http://portal2.unisul.br/content/paginadoscursos/arquiteturaeurbanismo/grandeflorianopolis/gradecurricular.cfm>. Acesso em: 14 de junho, 2010.
- 4 <http://www.univali.br/modules/system/stdreq>. Acesso em: 14 de junho, 2010.
- 5 http://www.furb.br/novo/index.php?option=disciplina&Itemid=287&sis_id_lang=1 Acesso em: 14 de junho, 2010
- 6 <http://www.unoesc.edu.br/cursos/graduacao/arquitetura%20e%20urbanismo/xanxere/matriz>. Acesso em: 15 de junho, 2010.
- 7 http://www.unesc.net/graduacao/1_37_1/index.php?ver=grade Acesso em: 14 de junho, 2010.
- 8 <http://www.unochapeco.edu.br/arquitetura/o-curso/matriz#menu-sobre-curso> Acesso em: 15 de junho, 2010.
- 9 <http://www.n.unerj.br/ngraduacao/curso.php?id=57> Acesso em: 15 de junho, 2010.
- 10 <http://www.sociesc.org.br/pt/ist/conteudo.php?&lng=2&id=4304&mnu=5693&top=0&crs=88> Acesso em: 15 de junho, 2010.
- 11 http://www.barddal.br/faculdades/site/docs/arquitetura/matriz_arquitetura_2009.pdf Acesso em: 15 de junho, 2010.
- 12 http://www.unc.br/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=28 Acesso em: 15 de junho, 2010.
- 13 http://www.facc.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=296&Itemid=27 Acesso em: 15 de junho, 2010.

Com base no que se pode observar na Tabela 1, verifica-se que a SCI ou, como tratam os cursos de arquitetura e urbanismo, em seus ementários, de prevenção contra incêndios, sistemas de prevenção e combate a incêndios, instalações prediais de combate a incêndios e combate a incêndios, estão inclusas em disciplinas que apresentam um conteúdo extenso e diversificado (APÊNDICE C), com uma carga horária, com variações de 40 a 72 horas/ aula, ministradas por semestre, ocorrendo nas fases, 4, 5, 6 e 7.

Após o levantamento pela internet, observou-se uma carência de informações sobre SCI, quando relacionadas aos projetos de edificações em estruturas metálicas, principalmente, ao tratar-se da proteção térmicas dos elementos estruturais em situação de incêndio. Desta forma, a pesquisa foi elaborada em função dessa necessidade.

CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Segurança contra incêndios: conceituação

Segundo Ono (2007), o homem sempre quis dominar o fogo. Durante milhares de anos, ao bater uma pedra contra outra, gerava uma faísca que, junto a gravetos, iniciava uma fogueira. Ele controlava a ignição, entretanto não controlava o fogo.

A NBR 13860 (ABNT, 1997) - Glossário de termos relacionados com a SCI, define os termos que devem ser adotados na normalização de segurança contra incêndio: “fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz.” (NBR 13860/1997, p, 3).

De acordo com Seito *et al.* (2008), a SCI foi recentemente considerada como uma nova área da ciência, por isso, é preciso alinhar-se a essa nova tendência mundial e iniciar o ensino e a pesquisa na ciência do fogo.

Esses mesmos autores, informam também que todos os métodos de controle, prevenção ou extinção do fogo baseiam-se nos seguintes itens:

- a) um material combustível (agente redutor);
- b) um material comburente (agente oxidante);
- c) uma fonte de ignição.

Todos esses itens são essenciais para que se obtenha a combustão. Costuma-se introduzir a seguinte forma representativa dos componentes básicos de uma combustão, que é chamado de triângulo do fogo (Figura 1).



Figura 1: Triângulo do fogo

O material necessita ser aquecido até a sua temperatura de ignição, antes de começar a comburir; para uma maior precisão, é comum substituir-se no triângulo do fogo o fator calor, (fonte de ignição) por temperatura de ignição. A continuidade da queima caracteriza a combustão e, se dá devido á cadeia de reações estabelecidas no desenvolvimento do incêndio. Esse encadeamento implica a formação de produtos intermediários instáveis, principalmente, radicais livres que prontamente se combinam com outros elementos, originando novos radicais e, finalmente, produtos estáveis.

A formação de produtos intermediários instáveis (radicais livres), implicou a reformulação da forma representativa do triângulo do fogo, mais adequadamente o interrelacionamento dos fatores presentes na combustão, representado pela pirâmide do fogo, ou tetraedro do fogo (Figura 2).

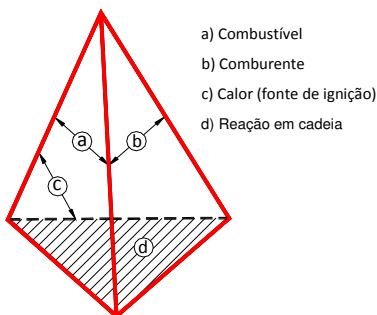


Figura 2: Tetraedro do fogo

De acordo com Seito *et al.*, (2008): “A interpretação dessa figura geométrica espacial é: cada uma das quatro faces representa um elemento do fogo - combustível, comburente, calor e reação em cadeia - e devem coexistir ligados para que o fogo se mantenha.” (SEITO, *et al.* 2008, p.36)

O fogo, para ser iniciado e se manter no material combustível, sofre influência de vários fatores, tais como: estado da matéria (sólido, líquido ou gás), massa específica, superfície específica, calor específico, calor latente de evaporação, ponto de fulgor ponto de ignição, mistura inflamável (explosiva), quantidade de calor, composição química, quantidade de oxigênio disponível, umidade, etc.

Conforme NBR 13860 (ABNT, 1997), o incêndio é o “fogo fora de controle.”

Mas como fazer para que não se estabeleça um incêndio? A cultura de um povo tem muito a ver com a frequência de incêndios. De acordo com Seito *et al.* (2008):

No Brasil, os engenheiros, arquitetos, técnicos e estudantes que completaram o segundo grau têm conhecimento dos conceitos de: condução, radiação, convecção e de calor latente, entretanto dificilmente esses conceitos são ligados à segurança contra incêndios (SCI). (SEITO *et al.* 2008, p.12).

Devido ao fato de a SCI ser considerada uma nova área da ciência, faz-se necessário investir em pesquisa, desenvolvimento de laboratórios, ensino, treinamento e educação comportamental nas escolas frente ao incêndio, entre outras.

Vargas e Silva (2003) comentam que um sistema de segurança contra incêndio consiste em um conjunto de **meios ativos** (detecção de calor ou fumaça, chuveiros automáticos, brigada contra incêndio, etc.) e **passivos** (resistência ao fogo das estruturas, compartimentação, saídas de emergência, etc.) que possam garantir a fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança, a minimização de danos a edificações adjacentes à infra-estrutura pública e à segurança das operações de combate ao incêndio, quando essas forem necessárias.

Um incêndio, na maioria das vezes, inicia pequeno, com desprendimento de calor e fumaça, e, se for combatido em seu início, podem-se evitar grandes catástrofes.

Seito *et al.* (2008) indicam que não existem dois incêndios iguais, pois são vários os fatores que concorrem para seu início e desenvolvimento, podendo-se citar:

- a) Forma geométrica e dimensões da sala ou local;
- b) superfície específica dos materiais combustíveis envolvidos;
- c) distribuição dos materiais combustíveis no local;
- d) quantidade de material combustível incorporado ou temporário;
- e) características de queima dos materiais envolvidos;

- f) local do início do incêndio no ambiente;
- g) condições climáticas (temperatura e umidade relativa);
- h) aberturas de ventilação do ambiente;
- i) aberturas entre ambientes para a propagação do incêndio;
- j) projeto de edificações do ambiente e ou edifício;
- k) medidas de prevenção contra incêndios existentes;
- l) medidas de proteção contra incêndio instalado.

A Figura 3 ilustra três fases da evolução de um incêndio celulósico⁶ na edificação:

1. Início lento em seu crescimento em torno de 5 a 20 minutos com aumento gradativo do calor.

2. Aparecimento de chamas aumentando o nível de calor irradiado para todo o ambiente, aumentando significativamente as temperaturas intensificando a reação em cadeias.

3. Diminuição gradual da temperatura do ambiente e das chamas, após consumir o material combustível.

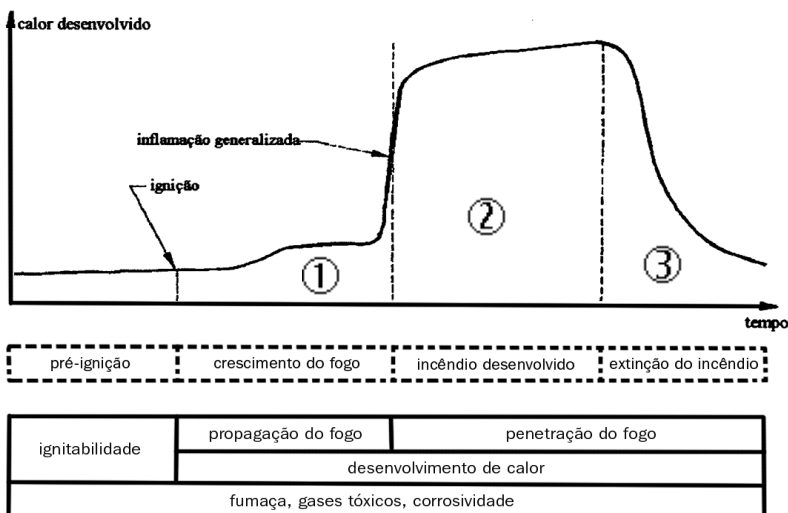


Figura 3: Fases de um incêndio associadas às características de reação ao fogo.

Fonte: SEITO *et al.*, 2008, p. 71.

⁶ Incêndio em materiais à base de celulose, com a característica importante de ser grande a produção de fumaça, principalmente, em caso de combustão incompleta (madeira).

O comportamento dos materiais ao fogo é, de maneira geral, muito complexo e não depende apenas de sua composição química. A sua forma física, a área superficial exposta, a inércia térmica e a orientação (vertical ou horizontal) são fatores que influenciam, no desempenho dos materiais, quando submetidos a uma fonte de calor.

3.1.1 Fumaça

Conforme Seito *et al.* (2008):

A fumaça é a mistura de gases, vapores e partículas sólidas finamente divididas. Sua composição química é altamente complexa, assim como o mecanismo de formação. É o produto da combustão que mais afeta as pessoas por ocasião do abandono da edificação. Sua presença pode ser percebida visualmente ou pelo odor. (SEITO *et al.*, 2008, p.48).

A fumaça, gerada em um incêndio, afeta a segurança das pessoas, causando danos consideráveis, atrapalha a visibilidade das rotas de fuga, provoca debilidade à movimentação, pânico, palpitações, entre outros.

3.1.2 Gases tóxicos mais comuns no incêndio e seus efeitos

Seito *et al.* (2008) afirmam que a toxicidade da fumaça depende das substâncias gasosas que a compõem. As mais comuns são:

a) monóxido de carbono – CO: é encontrado em todos os incêndios e é resultado da combustão incompleta dos materiais combustíveis à base de carbono, como madeira, tecidos, plásticos, líquidos inflamáveis, gases combustíveis, etc. O efeito tóxico deste gás é a asfixia, pois ele substitui o oxigênio no processo de oxigenação do cérebro efetuado pela hemoglobina. [...]

b) gás carbônico – CO_2 : é encontrado também em todos os incêndios e é resultado da combustão completa dos materiais combustíveis a base de carbono. A toxicidade do gás carbônico é discutível. Algumas publicações não o citam como gás tóxico dizem que o mal-estar é devido à diminuição da concentração de oxigênio pela presença dele no ambiente, enquanto outras dizem ser tóxico. Entretanto, como efeito nas pessoas que inalam o gás carbônico foi verificado que a respiração é estimulada, os pulmões dilatam-se e aumenta a aceleração cardíaca. [...]

c) gás cianídrico, cianeto ou cianureto de hidrogênio – HCN : é produzido quando materiais que contêm nitrogênio em sua estrutura molecular sofrem a decomposição térmica.

Materiais mais comuns que produzem o gás cianídrico na sua queima são: seda, náilon, orlon, poliuretano, uréia-formoldeído, acrilonitrila, butadieno e estireno. O gás cianídrico e outros compostos cianógenos bloqueiam a atividade de todas as formas de seres vivos. [...]

d) gás clorídrico – HCl : é um gás da família dos halogenados; os outros são HBr (gás bromídrico), HF (gás fluorídrico) e HI (gás iodídrico). Seu efeito é lesar a mucosa do aparelho respiratório, em forma de ácido clorídrico (gás clorídrico + umidade da mucosa), provocando irritação quando a concentração é pequena, tosse e ânsia de vômito em concentrações maiores e, finalmente, lesão seguida de infecção.

e) óxidos de nitrogênio – NOX : uma grande variedade de óxidos, óxi-ácidos e óxi-anions, correspondentes aos estados de oxidação do nitrogênio de +1 a +5, pode ser formada num incêndio.

Esses componentes causam muita irritação inicialmente; em seguida, tornam-se anestésicos e, depois, prejudicam o aparelho respiratório, onde forma os ácidos nitroso e nítrico, em contato com a umidade da mucosa. [...]

f) gás sulfídrico – H_2S : é um gás muito comum no incêndio e é produzido na queima de madeira, alimentos, gorduras e produtos que contenham enxofre. Seu efeito tóxico sobre o homem é a paralisação do sistema respiratório e danos ao sistema nervoso. [...]

g) gás oxigênio – O_2 : o consumo do oxigênio na combustão dos materiais diminui a concentração desse gás no ambiente e é um dos fatores de risco à vida das pessoas. (SEITO *et al*, 2008,p.51-52).

No abandono da edificação em caso de incêndio, devem-se observar determinados procedimentos importantes, quando da presença de fumaça e gases tóxicos, para evitar que as vias respiratórias sejam atingidas.

Segundo Silveira (1988):

O CO (monóxido de carbono) é altamente explosivo e também tóxico, matando com rapidez, por envenenamento (desoxigenação) do sangue; e o CO_2 (dióxido de carbono) não é tóxico e nem explosivo. É um gás inerte, não alimentando a combustão, sendo, por isso, usado em extintores portáteis. Porém, não pode ser inalado pelo homem, em local fechado, por causar desoxigenação do sangue. (SILVEIRA, 1998, p. 22)

Do ponto de vista de segurança contra incêndios, pode-se salvar as pessoas contra os efeitos dos gases, provocados pelo fogo, nos mais diversos materiais de composições diferentes, tomando atitudes preventivas, a fim de evitar danos mais graves, e, portanto, reduções de óbitos.

3.2 Comportamento dos materiais – reação ao fogo

De acordo a NBR 14432 (ABNT, 2001), todos os materiais utilizados na construção devem ter condições de cumprir certas

exigências mínimas normativas de acordo com a função a desempenhar no edifício. Essa norma estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram os edifícios para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural.

O conhecimento da natureza física e química do fogo possibilita o controle e a extinção de um incêndio. É necessário se ter conhecimento da constituição da estrutura da edificação em seus detalhes. Sustentação (pilares, vigas e lajes), fechamento (paredes), pisos, tetos, mobiliário, estocagem, entre outras, possibilitam uma avaliação da carga de incêndio e estratégia de combate.

Segundo Mitidieri e Loshimoto (1998), o controle das características de reação ao fogo dos materiais incorporados aos elementos construtivos, no processo produtivo do edifício, está associado à limitação do crescimento do incêndio, à limitação da propagação do incêndio, à evacuação segura do edifício e à preocupação contra a propagação do incêndio entre edifícios.

Já no processo de uso do edifício, a reação ao fogo dos materiais está diretamente vinculada ao controle de materiais trazidos para o interior do edifício e à disposição dos mesmos no ambiente.

Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2001), os itens 3.3. e 3.4, estabelecem:

3.3 carga de incêndio: soma das energias caloríficas que poderiam ser liberadas pela combustão completa de todos os materiais combustíveis em um espaço, inclusive os revestimentos das paredes divisórias, pisos e tetos.

3.4 carga de incêndio específica: Valor da carga de incêndio dividido pela área do piso considerado (ABNT, 2001, p.2).

A mesma norma (NBR 14432, ABNT, 2001) no item C.2.1, comenta que os valores da carga de incêndio específica podem ser determinados pela equação constante no ANEXO A.

Atualmente um grande número de materiais de proteção térmica é encontrado no mercado, com características físicas e químicas variadas, com aspectos diferentes, que interferem, também, na questão da aparência das edificações, assim como, no TRRF.

A NBR 14323/1999 define em sua alínea 5.3 - Materiais de proteção contra incêndio que:

[...] as propriedades térmicas e mecânicas, a aderência ao aço e a eficiência das juntas dos materiais de proteção contra incêndios devem ser determinadas por ensaios realizados em laboratório nacional ou laboratório estrangeiro, de acordo com a NBR 5628/2001 ou de acordo com outra norma brasileira, ou ainda, de acordo com norma ou especificação estrangeira (ABNT, 1999, p.8).

Em se tratando de ligações em estrutura metálica, estas devem ser projetadas para resistir às solicitações em situação de incêndio. Conforme a NBR 14323/1999, em seu projeto de revisão NBR 14323/2003: itens:

8.4.6.1.2 Quando necessárias, as ligações devem ser protegidas de maneira que se alguma parte das mesmas falhar, a resistência a incêndio de qualquer elemento conectado não se reduz.

8.4.6.1.3 Nenhuma verificação adicional nas ligações é necessária se estas forem envolvidas por material de proteção contra incêndios com a mesma espessura dos elementos estruturais conectados, podendo-se, ainda, adotar a redução de proteção nos parafusos indicada em 8.4.6.1.4, ou determinar a proteção dos elementos da ligação, como cantoneiras, com base na temperatura obtida segundo 8.5.4 (elevação da temperatura do aço) [...] (ABNT, 2003, p.29).

Segundo a NBR 14323/1999, em seu projeto de revisão NBR 14323/2003, no item 8.4.6.1.4, p, 29: “a espessura do material de proteção contra incêndio aplicado localmente sobre qualquer parafuso pode ser reduzida à metade da espessura aplicada em partes adjacentes da ligação [...]”.

Vargas e Silva (2003) comentam que a solução mais frequentemente empregada para evitar o aumento excessivo da temperatura das estruturas de aço em situação de incêndio é revesti-las com materiais de proteção térmica.

Em termos gerais, os materiais de proteção térmica devem apresentar:

- a) baixa massividade específica aparente;
- b) baixa condutividade térmica;
- c) alto calor específico;
- d) adequada resistência mecânica (quando exposta a impacto);
- e) garantia de integridade durante a evolução do incêndio;
- f) custo compatível.

De acordo com a NBR 14323/1999:

Para distribuição uniforme de temperatura na seção transversal, a elevação de temperatura $\Delta\theta_{a,t}$ ⁷ de um elemento estrutural situado no interior do edifício, envolvido por um material de proteção contra incêndio, pode ser determinada por cálculo [...] (ABNT, 1999, p.14).

Os elementos estruturais que estiverem com proteção contra incêndio (proteção térmica), bem como os fatores de massividade, apresentam valores diferenciados do perfil sem proteção.

Segundo a Polícia Militar do Estado de São Paulo – Corpo de Bombeiros, (São Paulo, Instrução Técnica N^o 10/2004), o controle de materiais de revestimento e acabamento pode ser definido como todo material ou conjunto de materiais empregados nas superfícies dos elementos construtivos das edificações, tanto nos ambientes internos como nos externos, com finalidades de atribuir características estéticas, de conforto, de durabilidade etc. Incluem-se como material

⁷ $\Delta\theta_{a,t}$ Variação da temperatura do aço no tempo t, em graus Celsius.

de revestimento os pisos, os forros e as proteções térmicas dos elementos estruturais.

3.2.1 Madeira

A madeira é um componente de muita importância na história da humanidade. Acompanha o homem desde os primórdios da pré-história, do aconchego da fogueira nas noites frias à forja construindo utensílios para agricultura, guerra, entre outros.

É um elemento que integra a construção desde que o homem passou a fixar-se na terra, construindo seus abrigos, onde a madeira integrava o lar, mesmo de forma rústica, como componente de sustentação, fechamento, pisos, paredes e outros usos. Na atualidade, o uso da madeira não sofreu grandes transformações. Constrói-se com acabamento “in-natura”, rústico, beneficiada (cerrada, plainada, lixada) ou compensada; bem pouco mudou, porém, em se tratando da conservação, o avanço é considerável.

A pesquisa da madeira e suas propriedades avançam a passos largos em todo o mundo. Essas propriedades estão condicionadas por sua estrutura anatômica, direção paralela às fibras, direção normal às fibras, que influenciam nos esforços de solicitações, principalmente, tração e compressão. Valores de densidade, resistência, rigidez, umidade, entre outros, devem ser considerados na utilização da madeira, quer em uso estrutural (vigas, pilares, treliças e outros) ou mesmo em acabamentos.

A madeira é um material isolante, porém combustível, que apresenta boas condições, dentro de certos limites, na utilização em elementos estruturais de resistência às chamas e ao calor, mesmo sem a utilização de produtos de proteção térmica.

A resistência mecânica residual de elementos estruturais de madeira em situação de incêndio é conhecida. Testes de laboratórios comprovam que o comportamento da madeira quando submetido a chamas, retarda o fluxo de calor para o interior da seção, retardando a velocidade de degradação térmica.

A camada de carvão na superfície, causada pela pirólise⁸, atua como uma camada inibidora natural, evitando a saída de gases em demasia, elementos que alimentam as chamas. A taxa de velocidade

⁸ Processo de decomposição pelo calor

em que a madeira converte em carvão a periferia da seção é um valor dimensional a ser determinado para se avaliar a resistência ao fogo, ou seja, qual o TRRF a ser considerado.

Apesar de sua inflamabilidade, as peças estruturais de madeira evidenciam um conveniente desempenho a altas temperaturas, melhor que o de outros materiais em condições severas de exposição (Figura 4).



Figura 4: Madeira exposta ao fogo após 30 minutos.

Fonte: PINTO, 2004, n.27.

Segundo Pinto (2004), é importante notar que esta viga, mesmo após meia hora de exposição, ainda se mantém em bom estado de utilização, podendo ser reaproveitada após a verificação de sua capacidade de carregamento remanescente, bastando remover a superfície de carvão (por motivos de aparência).

Schaffer (1973, apud FIGUEROA, 2008) apresenta as alterações sofridas pela madeira quando submetida a temperaturas superiores a 50°C - ANEXO B.

Ao se comparar a resistência ao fogo de uma estrutura de madeira, alumínio e aço, levando em consideração o mesmo suporte de cargas (condições semelhantes) e temperaturas, conclui-se que a madeira continua com uma boa resistência, enquanto o alumínio, em menos de 538°C, chega a valores aproximadamente de 10 % do suporte de carga, o aço 50 % e a madeira alcança aproximadamente 98 % de sua capacidade de suporte, ANEXO C.

Ao expor a madeira ao fogo, ela conserva sua resistência mecânica durante mais tempo em comparação ao aço. A Figura 5 mostra um exemplo no qual a estrutura em aço se deforma

completamente, enquanto que a viga de madeira permanece com capacidade de carga, mesmo depois de submetida ao fogo em altas temperaturas.



Figura 5: Madeira serrada suportando estrutura em vigas de aço colapsada após um incêndio.

Fonte: WILCOX, *et al.*, 1991, p.112.

3.2.2 Concreto

Segundo Levy e Helene (2002), a presença do concreto na história da humanidade evoluiu através dos tempos com o desenvolvimento das civilizações, tendo sido utilizado nos mais diversos tipos de construção.

Para Metha e Monteiro (2008), o concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água. O concreto tem uma estrutura altamente complexa e heterogênea. Assim, é muito difícil elaborar modelos realistas de sua microestrutura, a partir dos quais o comportamento do material pode ser previsto com confiabilidade.

Metha e Monteiro (2008), comentam o efeito do fogo no concreto:

O concreto tem demonstrado uma boa vantagem nesse aspecto. Ao contrário da madeira e dos

plásticos, o concreto não é combustível e não emite gases tóxicos quando expostos a altas temperaturas. Diferente do aço, quando submetido a temperatura da ordem de 700 a 800°C, o concreto é capaz de conservar resistência suficiente por períodos razoavelmente longos, permitindo operações de resgate com redução de risco de colapso estrutural. (METHA ; MONTEIRO, 2008, p. 150).

Os mesmos autores também afirmam que se deve notar, do ponto de vista de segurança ao fogo de estruturas em aço, que um cobrimento de 50 a 100 mm no concreto ou qualquer outro material resistente ao fogo é rotineiramente especificado pelas normas de construção.

Conforme Costa e Silva (2004), as estruturas de concreto armado são, tradicionalmente, consideradas mais resistentes à ação térmica, por serem menos esbeltas (mais “robustas”) quando comparadas às estruturas metálicas.

O concreto armado é um material heterogêneo, mas comporta-se como material homogêneo à temperatura ambiente. Em altas temperaturas, a heterogeneidade “adormecida” é realçada e a reação ao calor diferenciada de cada constituinte contribui na degeneração progressiva do material. A reação de desestruturação físico-química do concreto durante o incêndio está associada às características de dosagem e aos tipos de esforços suportados pelos elementos estruturais (COSTA; SILVA, 2004).

De acordo com Lima *et al.* (2004), o concreto sofre redução das suas propriedades mecânicas quando da elevação da temperatura. O caso do concreto pode ser agravado, devido à grande probabilidade de ocorrência de deslocamentos explosivos de porções do concreto, mais conhecidos como *spalling* (Figuras 6 e 7), o que acaba por diminuir a seção do elemento estrutural e deixar as barras de aço desprotegidas da ação do fogo.



Figura 6: Túnel Gret Belt (1994).



Figura 7: Cinema Cacique (1996).

Fonte: LIMA *et al.* 2004, p.5.

Na Figura 8 é representada a redução de resistência à compressão para o concreto e para o aço em função da temperatura.

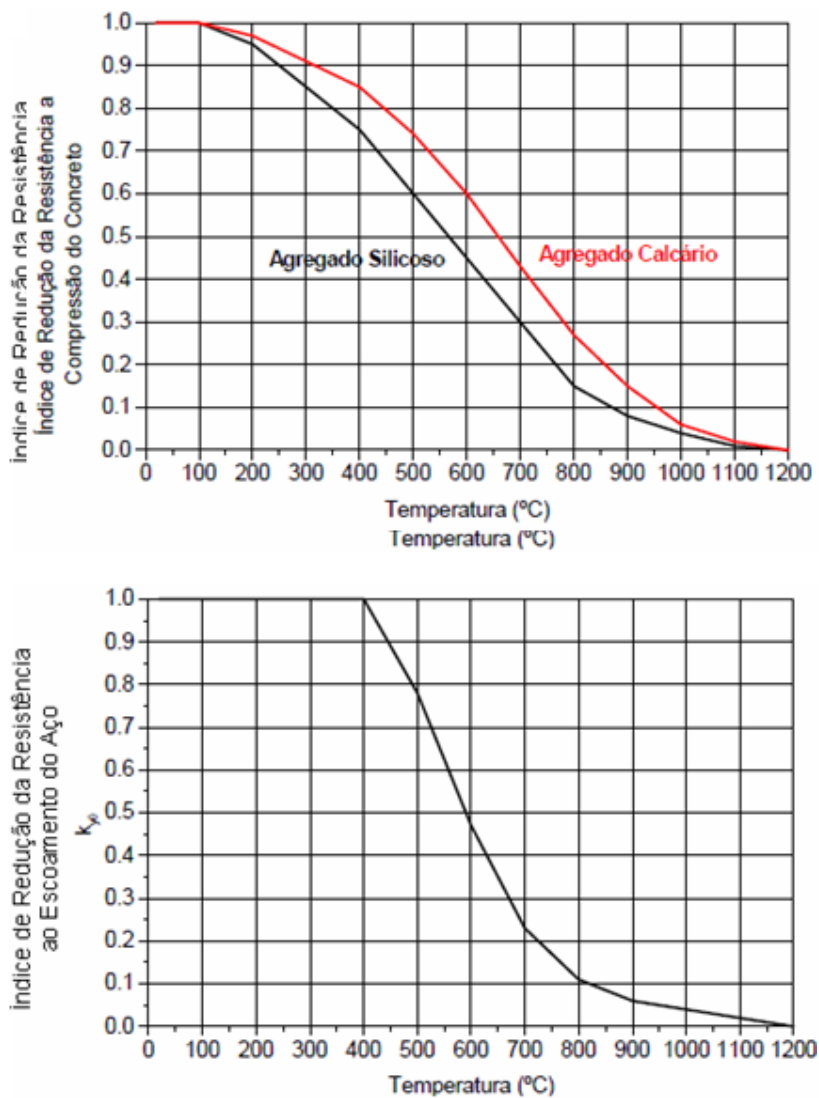


Figura 8: Redução da resistência a compressão do concreto e resistência ao escoamento do aço em função da temperatura

Fonte: GOMIDE; MORENO, 2009, p.4.

O gráfico superior (Figura 8) apresenta redução da resistência à compressão do concreto, em função da temperatura, adaptado pelos mesmos autores do EUROCODE 2 (prEN 1992-1-2:2003), assim como o gráfico inferior, do EUROCODE 3 (prEN 1993-1-2:2002), que apresenta redução de resistência ao escoamento do aço, também, em função da temperatura.

A NBR 14323/1999, nos itens 3.3 e 3.4, respectivamente, define:

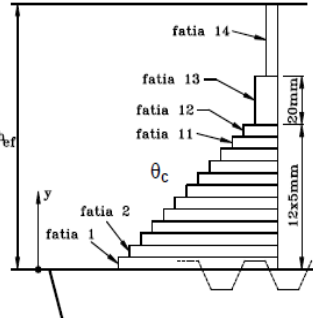
3.3 elementos estruturais protegidos – elementos estruturais envolvidos com material de proteção contra incêndio para reduzir sua elevação de temperatura em incêndio.

3.4 estanqueidade – Capacidade da vedação é impedir a ocorrência em incêndio de rachaduras ou outras aberturas, através das quais podem passar chamas e gases quentes capazes de ignizar um chumaço de algodão (ABNT, 1999, p. 2).

De acordo com a NBR 14323 (ABNT, 1999), a variação da temperatura na altura da laje de concreto de densidade normal, deve ser obtida, divide-se a altura da laje em um máximo de 14 fatias, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2: Variação de temperatura das lajes de concreto de densidade normal⁹

Fatia j	Altura y (mm)	Temperatura θ_c [°C] após um tempo de duração do incêndio, em minutos, de			
		30	60	90	120
1	≤ 5	535	705	754	-
2	5 a 10	470	642	738	754
3	10 a 15	415	581	681	754
4	15 a 20	350	525	627	697
5	20 a 25	300	469	571	642
6	25 a 30	250	421	519	591
7	30 a 35	210	374	473	542
8	35 a 40	180	327	428	493
9	40 a 45	160	289	387	454
10	45 a 50	140	250	345	415
11	50 a 55	125	200	294	369
12	55 a 60	110	175	271	342
13	60 a 80	80	140	220	270
14	≥ 80	60	100	160	210



Face inferior aquecida da laje maciça ou com fôrma de aço incorporada

Notas:

- 1) A altura efetiva h_{ef} para laje de concreto com fôrma de aço incorporada deve ser obtida na subseção C.2.1.2 do anexo C;
- 2) No caso de laje maciça de concreto, a altura h_{ef} é igual à espessura da laje t_c .

Fonte: ABNT, 1999, p.20.

A partir da Tabela 2 é possível verificar a temperatura a que determinada fatia é submetida após um tempo de duração do incêndio em minutos.

⁹ Concreto de densidade normal, 2300 a 2500 kg/m³

De acordo com a NBR 14323/1999, para que seja atendido o critério de isolamento térmico, a espessura efetiva da laje, h_{ef} , deverá ser maior ou igual ao valor dado na Tabela 3, conforme o TRRF.

Tabela 3: Espessura efetiva mínima de laje.

Tempo requerido de resistência ao fogo (minuto)	Espessura efetiva mínima h_{ef} (mm)
30	60
60	80
90	100
120	120

Fonte: ABNT, 1999, P.40.

A NBR 15200/2004 estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio e alerta que as propriedades dos materiais variam conforme a temperatura, θ , a que são submetidos por ação do fogo.

3.2.3 Concreto Celular Autoclavado (CCA)

Segundo dados da Siporex (2010), os CCA apresentam resistência ou fogo de seis vezes maior do que o tijolo comum e dez vezes maior que o concreto. Conforme as espessuras dos blocos, garantem períodos de resistência ao fogo variáveis (conforme Tabela 4).

Tabela 4: Blocos CCA - Resistência ao fogo

Espessura do bloco (cm)	Resistência ao fogo (minutos)
10,0	180
12,5	240
15,0	360

Fonte: SIPOREX, 2010.

3.2.4 Tinta intumescente

De acordo com Seito *et al.* (2008), o termo intumescente deriva do latim “tumescere”, que significa iniciar, expandir. A intumescência ocorre pela reação de componentes ativos sob influência do calor,

produzindo uma expansão significativa. Esses componentes ativos, ou intumescentes (Figura 9), expandem muitas vezes sua espessura inicial aplicada quando aquecidos (40 a 60 vezes), produzindo uma massa carbonácea que protege qualquer substrato sobre o qual o revestimento tenha sido aplicado.

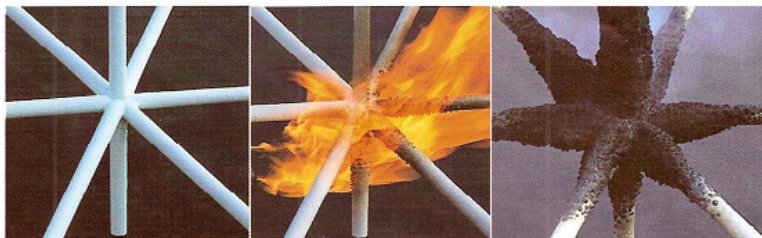


Figura 9: Fases da seqüência de eventos para o intumescimento da tinta.

Fonte: GERKEN, 2007, p.102.

Esse revestimento com tinta intumescente, quando em contato com o fogo, age a partir da temperatura de 200°C , e intumesce várias vezes a sua espessura original. Essa estrutura que se forma tem a função isolante e mantém, durante algumas horas, a estrutura em condições seguras, ou seja, abaixo da temperatura crítica de colapso (θ_{cr}), (APÊNDICE B).

3.2.5 Placas rígida, semi-rígidas e mantas

Segundo Silva *et al.* (2010) placas rígidas são:

Elementos pré-fabricados fixados na estrutura por meio de pinos ou perfis leves de aço, proporcionando diversas possibilidades de acabamento. Geralmente são compostas por materiais fibrosos ou vermiculita ou gesso ou combinação desses materiais. (SILVA *et al.* 2010, p.57).

As placas semi-rígidas são feitas com materiais fibrosos como lã de rocha, em geral aglomerado com resinas, com propriedades térmicas bastante semelhantes ao das mantas.

As mantas podem ser de lã de rocha, fibra cerâmica ou qualquer outro material fibroso.

Todos são materiais incombustíveis. A maior parte é somente aplicável a interiores. Os tempos de resistência ao fogo desses produtos podem atingir a 120 minutos.

3.2.6 Argamassas projetadas

Revestimento contra fogo mais empregado na construção civil brasileira, que apresenta excelente desempenho como proteção térmica, sendo resistente a chamas e as altas temperaturas e que possibilita atender TRRF superiores aos que determina a NBR 14432/2001.

3.3 Ação da temperatura em elementos estruturais em aço

Reduções da resistência e rigidez do aço, quando submetidos a altas temperaturas, devem ser consideradas no dimensionamento das estruturas em situação de incêndio. Porém, para a garantia da segurança estrutural necessária, deve-se evitar que a temperatura de colapso seja atingida.

De acordo com a NBR 14323/1999, uma estrutura considerada segura na condição excepcional de um incêndio é aquela que, com ou sem proteção contra incêndio, tem grande probabilidade de resistir aos esforços solicitantes em temperatura elevada, de forma a evitar o seu colapso.

Além dos esforços causados pela ação da gravidade e a eólica, em temperatura normal, em situação de incêndio, o projeto deve considerar a ação térmica causada pelo fluxo de calor oriundo das chamas, afetando a estrutura que se encontra em temperatura ambiente.

Segundo Vargas e Silva (2003), a principal característica de um incêndio, no que concerne ao estudo das estruturas, é a curva que fornece a temperatura dos gases em função do tempo de incêndio

(Figura 10), visto que a partir dessa curva é possível calcular-se a ação das chamas.

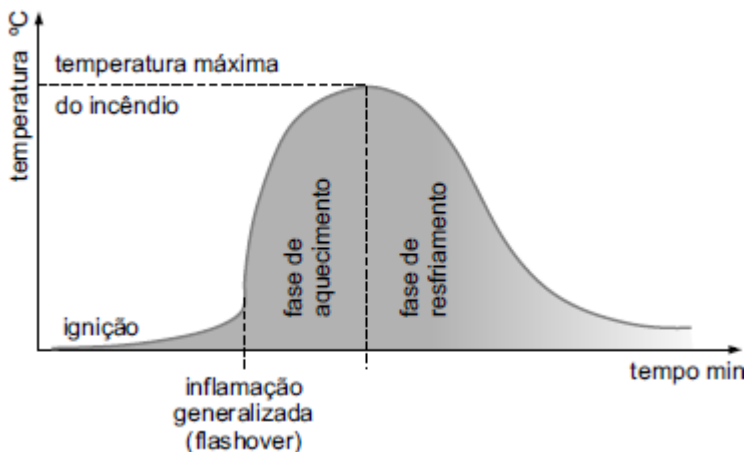


Figura 10: Curva temperatura – tempo de um incêndio real.

Fonte: VARGAS; SILVA, 2003, p.17.

O instante definido pelo aumento rápido de temperatura demonstrado na curva temperatura-tempo é conhecido como “flashover” ou instante de inflamação generalizada e ocorre quando toda a carga combustível presente no ambiente entra em ignição; assim, o incêndio adquire grandes proporções, e a temperatura dos gases eleva-se rapidamente.

Segundo Vargas *et al.* (2003), a curva temperatura-tempo real de um incêndio é difícil de ser estabelecida, pois depende de:

- a) tipo, quantidade e distribuição da carga de incêndio (material combustível presente no compartimento em chamas);
- b) grau de ventilação do compartimento calculado a partir das dimensões das aberturas (janelas, portas) para o ambiente externo;
- c) tipo de material e espessura dos elementos de vedação do compartimento.

Conforme a NBR 14323 (ABNT, 1999) em seu Projeto de Revisão da NBR 14323/2003, o aço, assim como outros materiais estruturais, quando submetidos a altas temperaturas sofre redução da sua resistência (Tabela 5 e Figura 11) e devem ser consideradas no dimensionamento em situação de incêndio, para garantia da segurança requerida.

Tabela 5: Fatores de redução para o aço (NBR 14323/2003).

Temperatura do aço θ_a (°C)	Fator de redução para a resistência ao escoamento dos aços laminados	Fator de redução para a resistência ao escoamento dos aços trefilados	Fator de redução para o módulo de elasticidade dos aços laminados	Fator de redução para o módulo de elasticidade dos aços trefilados
	$k_{y,\theta}$	$k_{y\theta,\theta}$	$k_{E,\theta}$	$k_{E\theta,\theta}$
20	1,000	1,000	1,0000	1,000
100	1,000	1,000	1,0000	1,000
200	1,000	1,000	0,9000	0,870
300	1,000	1,000	0,8000	0,720
400	1,000	0,940	0,7000	0,560
500	0,780	0,670	0,6000	0,400
600	0,470	0,400	0,3100	0,240
700	0,230	0,120	0,1300	0,080
800	0,110	0,110	0,0900	0,060
900	0,060	0,080	0,0675	0,050
1000	0,040	0,050	0,0450	0,030
1100	0,020	0,030	0,0225	0,020
1200	0,000	0,000	0,0000	0,000

Nota: Para valores intermediários da temperatura do aço pode ser feita interpolação linear

Fonte: ABNT, 2003, p.10.

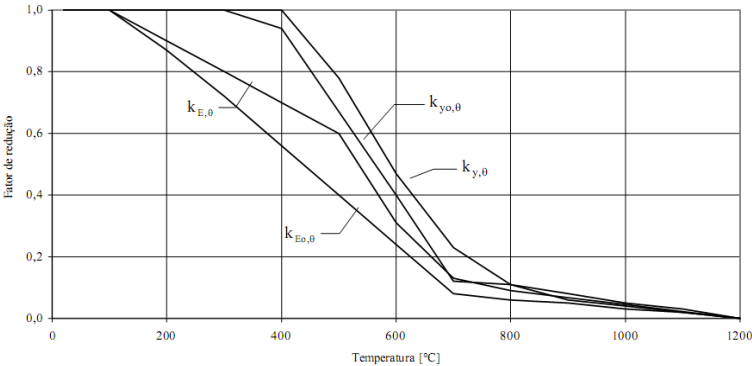


Figura 11: Variação dos fatores de redução para a resistência ao escoamento e o módulo de elasticidade dos aços com a temperatura.¹⁰

Fonte: ABNT, 2003, p.11.

¹⁰ $k_{y,\theta}$ - fator de redução para a resistência ao escoamento dos aços laminados em temperatura elevada relativo ao valor à temperatura ambiente.
 $k_{y\theta,\theta}$ - fator de redução para a resistência ao escoamento dos aços trefilados em temperatura elevada relativo ao valor à temperatura ambiente.
 $k_{E,\theta}$ - fator de redução para o módulo de elasticidade dos aços laminados em temperatura elevada relativo ao valor à temperatura ambiente.
 $k_{E\theta,\theta}$ - fator de redução para o módulo de elasticidade dos aços trefilados em temperatura elevada relativo ao valor à temperatura ambiente.

Aços laminados têm maior resistência ao escoamento que os aços trefilados e módulos de elasticidades diferenciados.

A partir de 400°C/ 300°C de temperatura, os aços (laminados e trefilados respectivamente) começam a reduzir resistência ao escoamento, e aos 100°C, módulo de elasticidade.

A NBR 14432/2001, estabelece exigências de resistência ao fogo para cada elemento (laje, viga e pilar), tempo equivalente ou TRRF, fixando de 30 a 120 minutos, com intervalos de 30 minutos, em função da ocupação da edificação, altura, área do pavimento, das medidas de proteção ativa, entre outras.

3.4 Determinação do TRRF

O TRRF pode ser entendido como o tempo mínimo (medido em minutos) que os elementos construtivos devem resistir (com respeito à integridade, estanqueidade e isolamento, onde aplicável) a uma ação térmica padronizada, em um ensaio laboratorial. A variável “tempo” é utilizada, em códigos e regulamentos, como uma medida para a definição do desempenho em incêndio, conforme ANEXO D (Tabela A.1 da NBR 14432/2001).

Dois são os métodos utilizados para determinação do TRRF das estruturas de aço:

3.4.1 Método Tabular

A NBR 14432/2001, através da Tabela A.1 (ANEXO D), define o TRRF que deve ser considerado nos elementos construtivos de edificações.

O arquiteto, quando estiver com as características construtivas previamente definidas (estrutura em aço), programa de necessidades pré-estabelecido, levando em consideração, as dimensões possíveis de planta, altura e uso permitido, conforme Viabilidade Técnica emitida pelo setor do Plano Diretor do Município, o uso da Tabela A.1 e Anexo B da NBR 14432/2001, torna-se imprescindível, na verificação da exigência ou não de proteção térmica, nos elementos estruturais em aço.

Segundo Silva (2001), o Método Tabular, determina de forma empírica do TRRF, frutos do consenso da sociedade.

No Estado de São Paulo, o Decreto Nº 46.076, de 31 de Agosto de 2001, institui o Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco para os fins da Lei Nº 684, de 30 de setembro de 1975 e estabelece outras providências.

A Polícia Militar do Estado de São Paulo - Corpo de Bombeiros através da Instrução Técnica Nº 08, (Tabela A), Segurança estrutural nas edificações - Resistência ao fogo dos elementos de construção, acrescenta outras ocupações/usos e altura da edificação além da Tabela A.1 da NBR 14432/2001, (ANEXO E).

Conforme Vargas e Silva (2003):

Embora o conceito do TRRF seja aplicado em vários países, os valores variam conforme o país. Na Nova Zelândia o TRRF máximo é de 60 minutos. Nos EUA o TRRF pode atingir 180 minutos para pilares de edifícios altos e no Reino Unido o TRRF máximo é de 120 minutos. No Japão o TRRF para edifícios altos é maior para os pavimentos inferiores e menor para os pavimentos superiores (VARGAS; SILVA, 2003, p. 20).

Vargas e Silva (2003) afirmam que o TRRF é fruto de consenso da sociedade ou dos profissionais da área de um País, não significando a duração do incêndio ou o tempo de evacuação dos ocupantes do edifício ou o tempo de chegada do Corpo de Bombeiros.

3.4.2 Método do tempo equivalente

O método do tempo equivalente consiste em relacionar a máxima temperatura do aço, no incêndio natural (real), ao tempo associado a essa mesma temperatura na curva do incêndio-padrão, (Figura 12). O emprego deste método é aceito pela NBR 14432/2001, desde que adequado à realidade nacional.

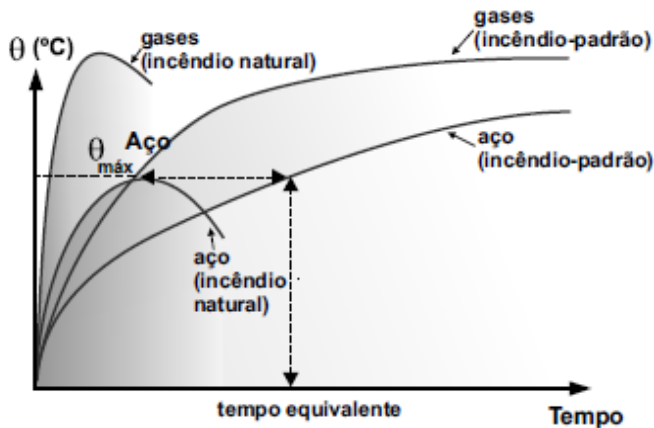


Figura 12: Método do tempo equivalente.

Fonte: VARGAS; SILVA, 2003, p.21.

Segundo Vargas e Silva (2003), tendo em vista que os ensaios a altas temperaturas de estruturas, de materiais de proteção térmica, de portas corta-fogo, etc., são realizados em fornos aquecidos, segundo as curvas padronizadas. Vários autores propuseram métodos para correlacionar o tempo de resistência ao fogo encontrado nesses ensaios e a situação real de incêndio.

O método mais citado nas bibliografias consultadas é o método do tempo equivalente. Sabe-se que a curva temperatura-tempo do incêndio-padrão tem crescimento contínuo, conforme pode ser visto na Figura 12. Sabe-se, no entanto, que no incêndio real, representado pelo modelo do incêndio natural, a temperatura dos gases e do aço atingem um valor máximo caindo, após, gradativamente.

A NBR 14432, item 3.26, define tempo equivalente de resistência ao fogo como: “Tempo, determinado a partir do incêndio-padrão,

necessário para que um elemento estrutural atinja a máxima temperatura calculada por meio do incêndio natural considerado”. (ABNT, 2001, p.3.)

Segundo Vargas e Silva (2003), através do tempo equivalente, previamente calculado, determina-se, curva do incêndio-padrão e a temperatura do aço que corresponderá à sua máxima temperatura no incêndio real. Uma vez calculada essa temperatura, pode-se dimensionar a estrutura em situação de incêndio (ANEXO F).

3.5 Edificações isentas dos requisitos de resistência ao fogo – TRRF

Vargas e Silva (2003) comentam que a resistência ao fogo de uma estrutura e seu comportamento, frente ao fogo, depende de uma série de fatores:

- a) sistema estrutural - vínculos, carregamento, vão, dimensões da seção transversal do perfil;
- b) condições de exposição ao fogo - elemento estrutural isolado, integrado com parede, misto aço-concreto;
- c) cenário do incêndio real - quantidade e distribuição da carga de incêndio, ventilação, tipo de elementos de vedação;
- d) condições de propagação - compartimentação vertical e horizontal, revestimentos de piso e parede;
- e) medidas de segurança contra incêndio - chuveiros automáticos, detecção de calor ou de fumaça, brigada contra incêndio;
- f) aspectos relacionados ao combate - acessibilidade, fachadas de aproximação, qualidade do corpo de bombeiro ou brigada.

A NBR 14432 (ABNT, 2001) estabelece, em seu Anexo A, as condições de isenção de verificação estrutural em caso de incêndio.

A mesma norma comenta em seus itens:

6.1 Os elementos estruturais podem ser construídos sem a resistência ao fogo, desde que se demonstre que estejam livres da ação do incêndio.

6.2 O elemento estrutural situado no exterior do edifício pode ser considerado livre da ação do incêndio, quando o seu afastamento das aberturas existentes na fachada for suficiente

para garantir a sua elevação da temperatura não o conduzirá ao colapso.

6.3 O elemento estrutural confinado está livre da ação do incêndio desde que o confinamento tenha resistência ao fogo pelo menos igual à que seria exigida para o elemento. (ABNT, 2001, p.4)

A Tabela 6, de modo simplificado, apresenta as isenções normativas para as edificações que se enquadrarem nos requisitos peculiares de ocupação, uso, altura, carga de incêndio específica e meios de proteção instalados.

Tabela 6: Edificações isentas de verificação de resistência ao fogo.

Ocupação/ uso	Altura da edificação (h)	Área da edificação (m ²)	Carga de incêndio específica	Meios de proteção
qualquer	qualquer	≤ 750	qualquer	-
qualquer	≤ 2 pav.	≤ 1500	≤1000 MJ/m ²	-
F3, F4 e F7	P1, P2 e P3	qualquer	qualquer	-
G-1 e G-2	P1 a P4 ^(A)	qualquer	≤200 MJ/m ²	-
J-1	P1 a P4 ^(B)	qualquer	qualquer	-
qualquer	Térrea	qualquer	qualquer	-
Não uso industrial	Térrea	qualquer	≤500 MJ/m ²	-
Industrial	Térrea	qualquer	≤1200 MJ/m ²	-
Depósitos	Térrea	qualquer	≤2000 MJ/m ²	-
qualquer	Térrea	qualquer	qualquer	Chuveiros automáticos
qualquer	Térrea	≤ 5000	qualquer	Duas Fachadas de aproximação ¹¹
F3 – Centros Esportivos F4 – Estações e terminais de passageiros F7 – Construções provisórias G-1 – Garagens sem acesso de público e sem abastecimento G-2 - Garagens com acesso de público e sem abastecimento J-1 – Depósito de baixo risco de incêndio			P1 - h ≤ 6m P2 - 6m < h ≤ 12m P3 - 12m < h ≤ 23m P4 - 23m < h ≤ 30m MJ ¹²	

Fonte: (Dados da NBR 14432/2001).

De acordo com Vargas e Silva (2003), as isenções não se aplicam às edificações cujos ocupantes tenham restrições de mobilidade como no caso de hospitais, asilos e penitenciárias, entretanto, se não for obrigatória a utilização de proteção térmica nas estruturas de aço,

¹¹ Conforme NBR 14432/2001, fachada de aproximação é a fachada da edificação localizada ao longo de uma via pública ou privada, com largura livre maior ou igual a 6m, sem obstrução, possibilitando o acesso e o posicionamento adequado dos equipamentos de combate. A fachada deve possuir pelo menos um meio de acesso ao interior do edifício e não ter obstáculos.

¹² Mega Joule (1000 MJ = 54,31 kg de madeira - 1 MJ = 54,31g de madeira)

devem ser ponderadas as exigências de medidas de proteção ativa (hidrantes, chuveiros automáticos, brigada de incêndio, etc.) e passiva (compartimentação, saídas de emergência, etc.), constantes das normas brasileiras em vigor e de regulamentação de órgãos públicos.

3.6 Obrigatoriedade de requisitos de resistência ao fogo em edificações - TRRF

As edificações que não se enquadrarem na isenção devem criar condições para atender ao TRRF determinado em norma, utilizando revestimento térmico adequado.

De acordo com Vargas e Silva (2003), os ensaios realizados no Brasil, para caracterizar um material de proteção térmica de estruturas de aço, têm por base a NBR 5628/2001 “Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo”, os princípios da ASTM E-119 Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials e da norma Loss Prevention Standard LPS1107.

3.7 Dimensionamento das espessuras do material de proteção térmica a partir de ensaios realizados em laboratórios

Segundo Mendes (2004), no Brasil, o Instituto de Pesquisas Tecnológica (IPT) realiza ensaios em barras verticais, com os quatro lados expostos ao incêndio, permitindo elaborar tabelas, chamadas Cartas de Cobertura, que indicam a espessura necessária de cada material de proteção, em função do fator de massividade do perfil de aço e do TRRF.

3.7.1 Carta de cobertura

Conforme Vargas e Silva (2003), os resultados obtidos nos ensaios são analisados por meio de uma equação empírica e é elaborada uma carta de cobertura. Nessa carta, para cada fator de massividade do perfil e o TRRF estabelecido para o elemento estrutural, é indicada a espessura do material de proteção térmica, considerando uma temperatura preestabelecida.

3.7.2 Fator de massividade

Conforme a ABNT, através da NBR 14323/1999, o índice de aumento de temperatura de um elemento estrutural de aço em incêndio é proporcional ao seu fator de massividade u/A , para elementos sem proteção, ou um/A , para elementos recobertos com material de proteção contra incêndios, onde:

- a) u é o perímetro do elemento estrutural de aço exposto ao incêndio, como dado no ANEXO G;
- b) um é o perímetro efetivo do material de proteção contra incêndios, como dado no ANEXO H;
- c) A é a área da seção transversal do elemento estrutural de aço.

3.8 Dimensionamento da proteção térmica por carta de cobertura – Forma reduzida

Silva (2004) comenta:

Tendo em vista que os elementos estruturais têm a resistência reduzida com a elevação da temperatura, há evidente uma determinada temperatura que causa colapso no elemento estrutural. Essa temperatura é denominada temperatura crítica (θ_{cr}). Os pilares e vigas de aço geralmente têm θ_{cr} entre 500°C a 700°C (SILVA, 2004, p.64).

Um conceito bastante importante a ser considerado é o do fator de massividade, visto que influencia fortemente na temperatura a ser atingida pelo elemento estrutural de aço durante um incêndio.

Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2001), fator de massividade (u/A) é a razão entre o perímetro exposto ao incêndio e a área da seção transversal de um perfil estrutural. As cartas de coberturas reduzidas (Tabelas 7 a 14) e cartas de cobertura ampliadas, (ANEXOS I a Q), possibilitam verificar as espessuras de proteções térmicas, através do fator de massividade, do perfil estrutural a ser protegido e do material de proteção térmica.

A argamassa termo-isolante contra a ação do fogo em perfis metálicos, "Termosit G" (Tabela 7) é um produto de baixo peso

específico (mínimo de 340 kg/m^3), totalmente não tóxico, aplicado na forma de “projeção úmida” diretamente sobre a estrutura; dispensado o uso de pinos, telas ou qualquer outro tipo de acessório de fixação. É uma argamassa composta basicamente por minerais inertes e aglomerantes hidráulicos, historicamente conhecidos por sua dureza e durabilidade. (GRUPO SISTEMA, 2010).

Tabela 7: Espessura (mm) de Termosist G, para $\theta_{cr}^{13} = 550^\circ\text{C}$.

$u/A \text{ (m}^{-1}\text{)}$	TRRF (minutos)			
	30	60	90	120
150	10	17	25	34
200	11	20	30	39
300	13	24	36	47

Fonte: Catálogo Grupo Sistema, 2010.

A manta de fibra cerâmica (Tabela 8) é resistente, leve e flexível, com densidades variando de 64 a 192 kg/m^3 , classe de temperatura de 1260°C , fabricada com fibras longas multidirecionadas e entrelaçadas num processo contínuo de agulhamento, o que confere ao produto excelente resistência ao manuseio e à erosão.

Tabela 8: Espessura (mm) da manta cerâmica para $\theta_{cr} = 550^\circ\text{C}$.

$u/A \text{ (m}^{-1}\text{)}$	TRRF (minutos)			
	30	60	90	120
150	12	19	38	50
200	12	19	38	63
300	12	19	38	75

Fonte: Catálogo Fiberfrax[®] – tecnotermo, 2010.

As placas de lã de rocha (Tabela 9), devido à baixa condutividade térmica e alta densidade, amortecem e atrasam a passagem do calor, protegendo a integridade da estrutura metálica, impedindo que esta fique submetida a temperaturas críticas, nas quais o aço perde rapidamente suas características de resistência. O cálculo das espessuras (25, 40 e 51 mm, espessuras fornecidas pela Rockfibras do

¹³ Temperatura crítica do aço

Brasil), depende do tipo de perfil a ser protegido e do TRRF, e sua temperatura de fusão é superior a 1100°C .

Tabela 9: Espessura (mm) da placa de lã de Rocha para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$.

u/A (m^{-1})	TRRF (minutos)			
	30	60	90	120
150	25	25	38	63
200	25	25	50	75
300	25	38	63	88

Fonte: Catálogo Rockfibras do Brasil, 2010.

Quando uma parede com placas de Gesso Acartonado Resistente ao Fogo (GARF) é exposta ao fogo, a água quimicamente combinada é liberada na forma de vapor, atuando como barreira térmica, até que complete o processo de calcinação da gipsita. A temperatura diretamente oposta à frente de calcinação é pouco superior à temperatura de ebulição da água. Além da alta resistência ao fogo que naturalmente o gesso possui, as placas GARF contêm produtos retardantes de chamas em sua fórmula, possibilitando especificações precisas, atendendo o TRRF necessário, (conforme Tabela 10).

Tabela 10: Espessura (mm) da placa de gesso acartonado – RF, para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$.

u/A (m^{-1})	TRRF (minutos)			
	30	60	90	120
< 55	12,5	12,5	12,5	15
55	12,5	12,5	12,5	2 x 12,5
70	12,5	12,5	12,5	2 x 12,5
98	12,5	12,5	15	2 x 12,5
138	12,5	12,5	2 x 12,5	2 x 12,5
152	12,5	12,5	2 x 12,5	2 x 15
203	12,5	15	2 x 12,5	2 x 15
240	12,5	15	2 x 12,5	3 x 12,5
334	12,5	2 x 12,5	3 x 12,5	3 x 12,5
400	12,5	2 x 12,5	3 x 12,5	3 x 12,5

Fonte: Catálogo Pladres Lafarge, 2010.

A tinta intumescente é um material específico para proteção passiva, a qual permanece inativa na estrutura, como uma tinta comum, até que seja exposta à temperatura superior a 200°C. A partir desta temperatura, inicia-se um processo de expansão volumétrica, ou seja, intumescem, tornando-se uma espuma rígida (devido às resinas que compõem a tinta) com poros preenchidos por gases atóxicos. A espessura da película da tinta intumescente “Calatherm 600⁰” dependerá do TRRF, do fator de massividade e da quantidade de lados expostos, (conforme Tabelas 11 e 12).

Tabela 11: Espessura (mm) da película de tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de I, com quatro lados expostos ao fogo, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$.

u/A (m ⁻¹)	TRRF (minutos)			
	Calatherm 600 ⁰			
	30	60	90	120
150	0,37	1,20	2,10	2,90
200	0,47	1,70	3,00	-
300	0,67	2,30	-	-

Fonte: Catálogo Tintas Calamar, 2010.

Tabela 12: Espessura (mm) da película de tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de I, com três lados expostos ao fogo, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$.

u/A (m ⁻¹)	TRRF (minutos)			
	Calatherm 600 ⁰			
	30	60	90	120
150	0,29	1,17	2,05	2,92
200	0,37	1,47	2,57	-
300	0,49	1,97	3,94	-

Fonte: Catálogo Tintas Calamar

O “Nullifire Basecoat S605[®]” é uma base solvente, intumescente, destinada à proteção contra incêndio de estruturas metálicas em áreas internas e externas, podendo resistir ao fogo por

até 120 minutos, (Tabela 13). Recomenda-se a sua aplicação e uso, somente em estruturas metálicas secas e revestidas com *Primer* epóxi.

Tabela 13: Espessura (mm) da película de tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de I, com quatro lados expostos ao fogo, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$.

u/A (m^{-1})	TRRF (minutos)					
	Nullifire/S605(int/ext)				Nullifire/S607(int)	
	30	60	90	120	30	60
150	0,49	1,27	1,73	3,96	0,20	0,88
200	0,49	1,27	2,31	5,94	0,32	0,88
300	0,49	2,23	-	-	0,60	1,25

Fonte: Catálogo Nullifire International – Unifrax, 2010.

O “Nullifire Basecoat S607®” base água é uma cobertura intumescente de coloração branca, destinada à proteção contra incêndio de estruturas metálicas em áreas internas e pode resistir ao fogo por até 90 minutos, (conforme Tabela 14).

Tabela 14: Espessura (mm) da película de tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de I, com três lados expostos ao fogo, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$.

u/A (m^{-1})	TRRF (minutos)						
	Nullifire/S605(ext)				Nullifire/S607(int)		
	30	60	90	120	30	60	90
150	0,25	0,71	1,74	3,96	0,20	0,49	1,20
200	0,25	0,86	2,23	-	0,20	0,54	-
300	0,50	1,50	-	-	0,40	1,10	-

Fonte: Catálogo Nullifire International – Unifrax, 2010.

A Carta de Cobertura permite ao arquiteto uma noção aproximada de como ficará o elemento estrutural protegido, de acordo com o material proposto, e quais suas interações com o projeto de edificações.

3.9 Custos de proteção térmica

Os custos das proteções térmicas, de forma geral, apresentam algumas características que são inerentes ao material a ser empregado. Resistência às intempéries, impactos, velocidade de aplicação, limpeza antes e após a aplicação, controle de espessura, aplicação em ambientes ocupados, acabamento visual e o tempo de proteção necessário, entre outros.

Segundo dados da empresa Refrasol (2010), os custos comparativos entre os vários sistemas são apresentados, conforme demonstra a Figura 13.

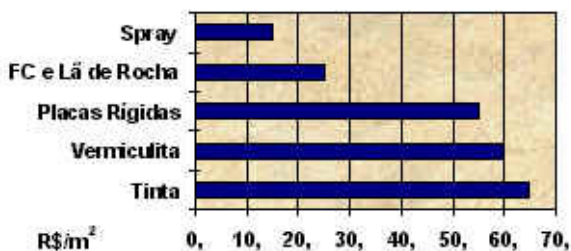


Figura 13: Custos comparativos entre proteções térmicas

Fonte: Refrasol (2010)

De acordo com PCF Soluções (2010) Tabela 14, o valor unitário da proteção varia conforme o TRRF, a massividade dos perfis e as quantidades a ser aplicadas, mas argamassas projetadas de baixa densidade são os produtos mais baratos que existem, para proteção passiva contra fogo, de estruturas metálicas.



Figura 14: Custos comparativos entre proteções térmicas

Fonte: PCF Soluções (2010)

Características x Custo de uma forma geral, quanto maior o requinte estético e a resistência mecânica do material de proteção, maior o seu custo. Da mesma forma, os materiais mais rústicos e de resistência mecânica inferior são os mais baratos.

CAPÍTULO 4: Materiais usados para proteção térmica

4.1 Contextualização histórica operacional

Segundo Pannoni (2004), um dos primeiros, senão o primeiro material de proteção passiva foi patenteado na Inglaterra, em 1722, por David Hartley. Esta patente tratava de um sistema de placas metálicas separadas por areia. O sistema foi instalado com sucesso em muitas casas da época, para prevenir o espalhamento do incêndio de um andar para outro. Assim, o primeiro sistema de compartimentação foi criado. A proteção térmica dos elementos estruturais de aço (também chamada de proteção passiva) é o meio mais comum de se proteger o aço contra o incêndio.

Segundo Addis (2009), no final do século XIX, percebeu-se que, para criar construções à prova de fogo, não bastava substituir a madeira utilizada em edificações por ferro ou aço. Ferro e aço são materiais que, quando aquecidos acima de 550⁰C, enfraquecem a ponto de se tornarem estruturalmente inadequados. Como a maioria dos incêndios chega a essa temperatura rapidamente, chega-se à conclusão de que a única solução segura era proteger o metal da fonte de calor. Os pilares geralmente eram revestidos com plaquetas de cerâmica, tijolos ou blocos. No Início do século XX, eles também passaram a ser revestidos com argamassas aplicadas a chapas de “metal expandido”, uma ótima base para as argamassas. Vigas feitas de aço geralmente eram parcial ou completamente revestidas com concreto, ou protegidas pelos elementos ocos de concreto pré-moldado da estrutura do piso. O uso de vigas e pilares protegidos contra a ação do fogo e calor do tipo caixa, como era executado, criava câmaras de ar entre a proteção ao fogo e o aço, permitindo que os gases quentes se espalhassem pelo prédio e contribuíssem para agravar o problema. Esse problema foi fundamental para o desenvolvimento, em meados da década de 1950, de produtos à prova de fogo jateados (argamassas projetadas¹⁴) que, por sua vez, resultaram em inovações significativas na construção de pisos. Pela primeira vez,

¹⁴ Em vários países como os Estados Unidos existem variados tipos dessas argamassas, as quais são classificadas com relação à composição química, utilização, fornecedor, custos, entre outros, diferente das que são utilizados no Brasil.

foi possível aplicar proteção anti-incêndio a pisos, utilizando *steel deck* (laje de concreto com forma metálica).

As chapas de aço corrugado começam a ser usadas nos Estados Unidos por volta de 1890, mas a fina camada de concreto sobre a laje de aço agia apenas como superfície de proteção contra o desgaste e como amortecimento contra vibrações. Tais componentes de piso não podiam ser usados em prédios altos devido à sua vulnerabilidade em um incêndio.

Addis (2009) comenta: após desenvolvimento de produtos à prova de fogo jateados, a capa de concreto sobre a laje (*steel deck*) ficou espessa o suficiente para agir de forma conjunta com pisos. Há anos sabia-se que o concreto e o aço poderiam agir de forma conjunta em estruturas de piso, mas apenas na década de 1950 engenheiros passaram a utilizá-los em seus cálculos de projeto. Isso resultou em uma economia considerável tanto no peso como no dinheiro, mesmo com o custo extra dos produtos à prova de fogo.

O principal problema de todos esses métodos de proteção contra incêndios era manter o aço escondido. Duas soluções surgiram:

a) a primeira se baseava na aplicação de tinta intumescente, ou retardante ao fogo, desenvolvida durante a década de 1970. São utilizadas apenas em componentes estruturais de grandes seções (não em *steel deck*), pois sua eficiência depende de grandes seções de metal para afastar o calor. Elas também podem, evidentemente, ser aplicadas à estrutura de metal de edificações existentes, auxiliando na conservação do ferro fundido ou forjado aparente em prédios antigos. Entretanto, o uso de tintas intumescentes é uma solução relativamente cara, em relação à superfície a ser protegida, ao se comparar com outros materiais, principalmente com argamassas;

b) a segunda solução, muito mais radical, foi motivada, originalmente, pelo desejo de alguns arquitetos bastante ousados, como Ludwig Mies Van der Rohe, ao exibir a estrutura de aço de sua arquitetura. A solução, em resumo, era projetar os componentes estruturais de forma a continuarem funcionando com segurança durante um incêndio; entretanto, o argumento utilizado para explicar por que a proteção térmica não seria necessária foi o de que ela estava efetivamente fora da edificação, e a parede externa a protegia adequadamente de um incêndio.

De acordo com Addis (2009):

O estudo científico de incêndios e suas consequências começaram por volta de virada de século (XIX – XX), quando pesquisadores passaram a testar diferentes materiais e formas estruturais em incêndio controlados. Na década de 1930, a maioria dos países já contava com institutos de pesquisa em incêndios. Tais testes ajudaram a determinar as temperaturas existentes em incêndios reais, além do tempo que diferentes componentes estruturais levam para aquecer. (ADDIS, 2009, p.568).

O resultado, no início da década de 1950, foi que agências reguladoras, em países da Europa e nos Estados Unidos, começaram a exigir que diferentes componentes de uma edificação recebessem uma “classificação de incêndio” – o tempo que o componente resistiria a um “incêndio padrão” hipotético, com uma duração que variaria entre 30 minutos e duas horas. Antes da década de 1950, a classificação de incêndio era feita com dados empíricos, baseava-se em estimativas conservadoras e dependia da localização do componente (posição do pilar), do tamanho do prédio e de sua provável ocupação.

Entretanto, essa abordagem, baseada em um tempo estimado para evacuar edificações, parecia não obedecer ao bom senso em alguns casos, como os prédios que poderiam ser evacuados em poucos minutos ou prédios que possuíam a estrutura de aço no exterior (pilares afastados das fachadas), portanto, não estavam sujeitos a todos os efeitos de um incêndio que ocorresse no interior da edificação. Esse argumento foi defendido por Ludwig Mies Von der Rohe ao projetar sua Farnsworth House (1946 - 1950), (Figura 15). Embora, a casa provavelmente não desrespeitasse as normas de construção, ele previu que o uso do aço aparente seria testado e criou um argumento para explicar por que a proteção térmica não seria necessária, pois os pilares estavam efetivamente fora da edificação e a parede externa a protegeria adequadamente de um incêndio.



Figura 15: Casa Edith Farnsworth, Illinois, 1946-51

Fonte: ADDIS, 2009, p.567.

O mesmo argumento, alguns anos mais tarde, foi apresentado por Rohe, quando projetou o S. R. Crown Hall, no Illinois Institute of Technology, em Chicado (Figura 16).



Figura 16: Instituto de Tecnologia de Illinois, Chicago, 1950-56

Fonte: ADDIS, 2009, p.569.

Um dos primeiros edifícios de pavimentos múltiplos a apresentar pilares de aço expostos sem proteção contra incêndios foi um prédio administrativo projetado e construído pela firma de engenharia alemã MAN para uso próprio (MAN Building), em meados da década de 1950. Os pilares externos avançavam 150 mm em relação ao plano de fachada, apoiando as vigas de piso. A permissão para a construção só foi dada após exaustivos testes que verificaram o desempenho previsto em caso de incêndio.

Em 1957, a empresa Skidmore, Owins & Merrill inaugurava um edifício com 19 pavimentos para a Inland Steel (Inland Steel building) e consolidou de uma vez por todas o uso do aço sem proteção contra incêndios, tornou-se um ícone na história da engenharia de incêndio. Quase todo o edifício foi construído com ligações soldadas, em vez de usar rebites ou parafusos.

O uso de aço exposto e a abordagem de projeto da engenharia de incêndio foram impulsionados pelo desenvolvimento de aços resistentes à corrosão (aços patináveis). O problema em se exibir uma estrutura de aço era expô-la ao clima. Do ponto de vista financeiro, o custo que economizava em não proteger o aço contra o incêndio era gasto para protegê-lo contra a corrosão. O desenvolvimento dos aços patináveis, por conter cerca de 2% de cobre e cromo em sua composição, forma, com o passar do tempo, uma camada de óxidos protetora, com coloração marrom escuro (Figura 17), não necessitando de acabamento com aplicação de sistemas de pinturas.



Figura 17: Edifício John Deere, Illinois, 1962-64

Fonte: ADDIS, 2009, p.571.

Addis (2009) comenta que apesar de seu impacto na arquitetura, o número cada vez maior de prédios que exibiam a estrutura de aço pouco contribuiu para a promoção de métodos novos e mais racionais de projetar edificações para resistir a incêndios. O primeiro passo nessa direção foi dado na década de 1950, quando se concebeu o conceito de “carga de incêndio” – análogo ao conceito de carga estática sobre uma estrutura. Um prédio reage a uma carga de incêndio da mesma forma como uma estrutura reage a cargas e gravidade e vento. Uma carga de incêndio é quantificada como energia de combustão e medida em

MegaJoules¹⁵ (ou British Thermal Units) por unidade de área de piso. Para facilitar, o resultado geralmente é convertido para o peso de madeira, em quilogramas, equivalente à energia de combustão total dos materiais em um cômodo.

Ao analisar as consequências de um incêndio, os engenheiros passaram a ver a proteção contra incêndio como um problema de refrigeração, assim como os projetistas de motores de automóveis tiveram de elaborar maneiras para refrigerar os blocos de cilindros dos motores. A ideia de fazer com que a água circulasse entre os pilares de aço para refrescá-los foi patenteada originalmente em 1884, e investigada profundamente por engenheiros-pesquisadores na Alemanha, Grã-Bretanha e Estados Unidos no início da década de 1960, segundo Addis (2009).

A mesma ideia foi utilizada por Ove Arup no Center George Pompidou, em Paris (1971-77). As colunas cilíndricas de aço inoxidável foram preenchidas com água, assim, em caso de incêndio, a água forma um circuito movido por convecção e remove o calor do aço exposto aos gases quentes. O tubo que mantém a água e o anti-congelante no nível correto pode ser visto no topo de cada coluna, (Figura 18).



Figura 18: Center George Pompidou – Detalhe da tubulação de água que enche as colunas da estrutura

Fonte: ADDIS, 2009, p.574.

No Royal Exchange Theatre (Teatro Real da Bolsa de Grãos), em Manchester - Inglaterra, os engenheiros conseguiram fazer aquilo que, até então se considerava impossível – utilizar aço para construir toda

¹⁵ 1 MJ a queima de 54,31 gramas de madeira (1 kg de madeira = 455^a kcal = 18,414 MJ)

estrutura para suportar cargas de um prédio sem proteção nenhuma contra o fogo. A natureza incomum do projeto abriu caminho para utilização mais racional do aço. A principal razão era a necessidade de minimizar o peso da estrutura, que teria que ser suportado pelas fundações do prédio. Acreditava-se, também, que as tintas intumescentes disponíveis na época (meados de 1970) não protegiam adequadamente os esbeltos elementos de aço contra incêndios. Após adotar cuidadosa abordagem racional que explorasse todas as consequências plausíveis de um incêndio, com argumentos apresentados às autoridades fiscalizadoras municipais¹⁶, concordaram e sancionaram o uso da estrutura de aço sem proteção térmica e sem realizar quaisquer testes, exceto o teste usual de evacuação da plateia do teatro.

Poucos anos mais tarde, já era amplamente usada essa abordagem de explorar de modo racional todas as consequências aceitáveis, de resistência ao incêndio em projeto de edificações, principalmente devido à economia que representava para os clientes, e que passou a ser conhecida como engenharia de incêndio ou engenharia de segurança contra incêndios e explosões.

À medida que evoluía a potência dos computadores durante a década de 1980, tornou-se possível verificar o comportamento de edificações em situação de incêndio, a partir de simulações computacionais, propiciadas pelos conceitos de engenharia de incêndio, utilizando cálculos analíticos cada vez mais sofisticados. A capacidade de realizar cálculos confiáveis de temperatura por toda a

¹⁶ Argumentos apresentados para as autoridades fiscalizadoras municipais:

a) provendo-se de muitas saídas, a platéia podia evacuar o teatro e o prédio da bolsa de grãos com rapidez necessária para evitar perigo;

b) mesmo que o incêndio continuasse após a evacuação, o colapso da estrutura do teatro não afetaria significativamente o combate ao incêndio, assim como, o prédio da bolsa de grãos;

c) a classificação de incêndio padrão definida no *British Standard* (Padrão Britânico) para proteção de edificações era, na época, severa e pessimista de forma irreal (testes recentes, em meados de 1970, haviam provado que as temperaturas definidas no “*British Standard Fire*” – Incêndio Padrão Britânico, só podiam ser atingidas se o combustível fosse continuamente acrescentado ao incêndio);

d) a probabilidade de um incêndio começar e se espalhar foi reduzida pela seleção de materiais incombustíveis ou de baixa combustibilidade para o interior do teatro. (ADDIS, 2009, p.572 e 575).

estrutura de aço de um prédio durante todo o tempo que durar o incêndio, bem como o desenvolvimento de materiais de proteção térmica, foram um grande avanço. Com auxílio de tais cálculos, pôde-se demonstrar que em nenhum momento a resistência do aço ficaria inferior à resistência necessária para suportar as cargas estruturais, após a evacuação do prédio. Embora pareça óbvio, esse último pressuposto, não era permitido cerca de uma década antes, e isso fez com que alguns arquitetos explorassem o uso do aço aparente tanto externa como internamente.

Várias ferramentas computacionais desenvolvidas para verificar desempenhos das edificações em situação de incêndio apresentam características importantes em função do objeto a ser analisado, dentre eles:

- EXTEELFIRE 2.0 - foi desenvolvido para determinar a máxima temperatura dos elementos de aço externos à edificação em situação de incêndio.

- Smartfire - é utilizado para gerar dados dos perigos do incêndio relativos à temperatura, concentração de fumaça e radiação térmica em uma determinada região dimensionada, à qual pode apresentar compartimentos internos múltiplos, separados por paredes.

- BuildingEXODUS - é um *software* designado a simular a evacuação e movimentação de um grande número de indivíduos em uma estrutura complexa, conforme os códigos de edificação, considerando a interação pessoa-pessoa, pessoa-incêndio e pessoa-estrutura.

Desta forma, possibilita simulação das várias situações em que poderão estar submetidos os projetos de edificações, em situação de incêndio, corrigindo ou acrescentando novos elementos necessários a minimizar futuros riscos de incêndios.

Munaiar Neto e Malite (2006) comentam que os materiais para revestimento térmico devem apresentar capacidade de proteção térmica para altas temperaturas, mantendo sua integridade durante o incêndio, sem causar aumento considerável no peso próprio na estrutura. Para isso, é necessário que eles apresentem, em geral, baixa massa específica aparente, baixa condutividade térmica e calor específico elevado.

Esses materiais devem trabalhar acompanhando os deslocamentos da estrutura; sua durabilidade deve ser compatível com

a vida útil da estrutura, e, em sua composição não deve conter elementos agressivos à saúde. Também não devem ser higroscópicos¹⁷, de modo a garantir que o aço não receba umidade, porém é necessário o uso de “primers” ou de outros produtos anticorrosivos nas estruturas internas para não agravar uma possível corrosão. A combustão e, conseqüentemente, a propagação de chamas, não podem ocorrer nesses materiais e, ainda, eles não podem permitir a proliferação de insetos; para isso, devem ser formulados e produzidos com fungicidas e bactericidas.

Os materiais para revestimentos térmicos utilizados atualmente podem ser classificados segundo três fatores:

a) Quanto ao material constituinte: alvenaria, concreto de cimento portland, concreto leve, argamassas à base de cimento, de fibras minerais, de vermiculita ou de gesso, mantas de fibras cerâmicas, de fibras minerais ou de lã de rocha, tintas intumescentes, entre outros.

b) Quanto à morfologia: dos tipos contorno, caixa com vãos e caixa sem vãos.

c) Quanto à técnica de colocação: moldados com o uso de formas, aplicados manualmente, aplicados por jateamento, fixados por dispositivos específicos ou montados.

Os materiais utilizados na proteção térmica devem ter características próprias e desempenho comprovado para o fim a que se destina (TRRF), porém, a interação com a arquitetura é de fundamental importância, ou seja, imprescindível quando da elaboração de projetos e execução de obras.

Aspectos dimensionais, aparência e manutenção devem ser motivo de atenção na fase inicial de projeto, evitando erros ou alterações quando da execução.

Os primeiros materiais de proteção usados no início do século XX foram a alvenaria e o concreto. Isso exigia um trabalho árduo com revestimentos de alta densidade e grandes espessuras.

Segundo Martins (2000), para aumentar sua resistência a incêndio, os elementos estruturais de aço, muitas vezes precisam ser envolvidos por materiais isolantes térmicos. Inicialmente, empregavam-se materiais e técnicas já existentes, como a execução de

¹⁷ Que tem a capacidade de adsorver a umidade do ar.

alvenarias contornando pilares ou o embutimento de pilares ou vigas em concreto, como demonstra Figura 19.

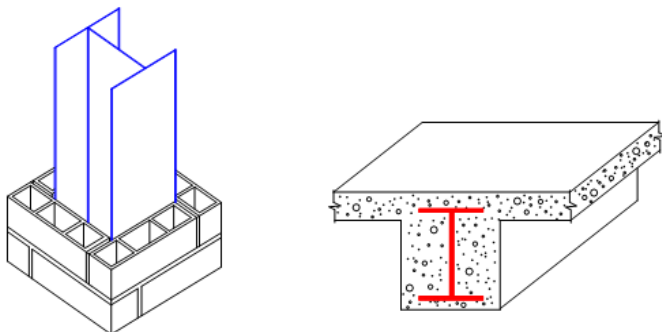


Figura 19: Proteções clássicas da estrutura de aço em incêndio.

Fonte: MARTINS, 2000, p.31.

Nesses procedimentos de proteção térmica, se não forem contemplados na elaboração do projeto de edificações, ocorrerá em acréscimo dimensional não adequado, refletindo na redução de área útil e altura do ambiente.

Em meados do século XX, o gesso começou a ser utilizado, porém ainda era necessário um trabalho substancial. Os revestimentos não eram muito leves, porém apresentavam uma boa performance contra o fogo.

No final do século XX, iniciou-se a utilização dos materiais projetados, com a utilização de materiais cimentícios e gesso hidratado combinado com fibras.

4.2 Proteção Térmica - Madeira

As propriedades da madeira em situação de incêndio são reconhecidas. Entre os responsáveis por esse comportamento do material estão a baixa condutividade térmica da madeira que retarda o fluxo de calor para o interior da seção abrandando a velocidade da degradação térmica. O carvão, um dos produtos da pirólise, por meio do arranjo estrutural, atua como um isolante natural retardando ainda mais o efeito de degradação.

A madeira pode ser utilizada como proteção térmica em elementos estruturais em aço nos projetos de edificações, dependendo

da taxa de carbonização relacionada com a espécie utilizada, para se chegar a uma espessura da madeira cerrada ou painel, compatível com TRRF necessário. No entanto, para a madeira de pequenas dimensões (espessuras), os primeiros milímetros de carbonização representam significativa porção da área total da seção transversal e, portanto, assumir uma carbonização constante pode não ser seguro.

Segundo Eurocode 5 (2002), são adotados valores que normalmente variam de 0,65 a 0,8 mm/min para coníferas e 0,5 a 0,7 mm/min para dicotiledôneas.

As coníferas (gimnospermas), também designadas na literatura internacional como *softwoods*, ou seja, madeiras moles, são árvores típicas dos climas temperados e frios. Na região sul do Brasil, encontra-se uma conífera típica: o Pinho do Paraná (*Araucária angustifolia*) e segundo o gênero *Pinus*, junto a mais algumas dezenas de espécies, também pertence às Coníferas. O *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, são destaques no Brasil em sua utilização.

As dicotiledôneas (angiospermas), usualmente designadas na literatura internacional como *hardwoods*, ou seja, madeiras duras, constituem a quase totalidade das espécies das florestas tropicais e são, no mercado madeireiro brasileiro, algumas delas denominadas: de peroba rosa, ipê, mogno, cedro, imbuia, pau marfim, cerejeira, jatobá, jequitibá rosa, peroba do campo, sucupira, angelim pedra, angelim vermelho, itaúba, eucaliptos, entre outras.

A madeira sem proteção térmica inflama-se a aproximadamente 350°C e a velocidade de carbonização a considerar pode ser a recomendada pelo Eurocode 5 (2002). Porém, essas propriedades são melhoradas, quando da utilização de produtos retardante ao fogo, que atua de forma decisiva e eficiente no combate e propagação de chamas, em superfícies de madeira. Aplicados por pincelamento, rolos ou spray, como no sistema convencional de pinturas, esses produtos apresentam em acabamento final, superfícies que mantêm texturas originais da madeira (produto incolor), ou em cor padrão (branca), ou sob consulta para as demais cores. Vernizes ignífugos não intumescentes e intumescentes são soluções que podem ser utilizadas em situações onde há necessidade de uma maior resistência à propagação das chamas, conforme APÊNDICES A e B.

4.3 Proteção Térmica - Concreto

Segundo Vargas e Silva (2003), o concreto em si é um material menos condutor que, por exemplo, o aço; porém, seu comportamento e resistência diferem a altas temperaturas.

Os mesmos autores comentam que, a partir dos diagramas apresentados (Figuras 20 e 21), e sabendo-se que o concreto a altas temperaturas pode sofrer redução de área resistente, por lascamento (“spalling”), devido ao diferente comportamento a altas temperaturas dos materiais que o compõem e à pressão interna gerada pela evaporação forçada da água (em concretos de alta resistência esse fenômeno é mais significativo, podendo ser explosivo), pode-se concluir que um elemento de concreto atingirá a ruína à temperatura média menor do que a de um elemento de aço, desde que ambos estejam submetidos a carregamento proporcional à sua resistência.

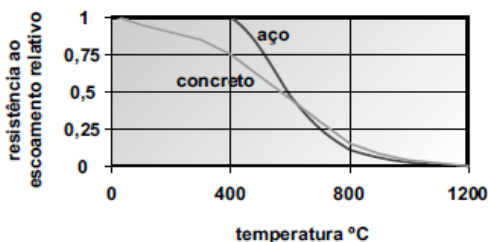


Figura 20: Redução da resistência ao escoamento em função da temperatura

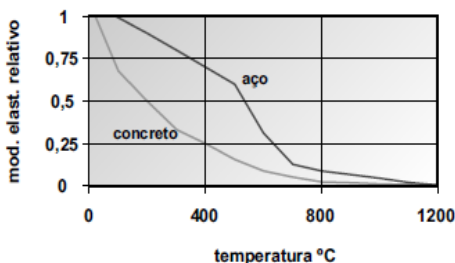


Figura 21: Redução do módulo de elasticidade em função da temperatura

Fonte: VARGAS; SILVA, 2003, p.16.

Conforme Vargas e Silva (2003) é importante ressaltar que, na prática, as dimensões dos elementos formados por esses materiais são diferentes. Pela diferença de resistência mecânica e de rigidez, é corrente utilizar-se seções transversais de aço compostas por paredes muito esbeltas, se comparadas às de concreto.

Essa diferença de fator de massividade¹⁸ faz com que a seção transversal do concreto se aqueça, em média, mais lentamente. O concreto perderá muita resistência junto ao contorno, mas no núcleo perderá pouca ou nenhuma, dependendo da severidade do incêndio. De forma simplificada, poder-se-ia dizer que, em incêndio, a área resistente de concreto é menor do que a área à temperatura ambiente (Figura 22).

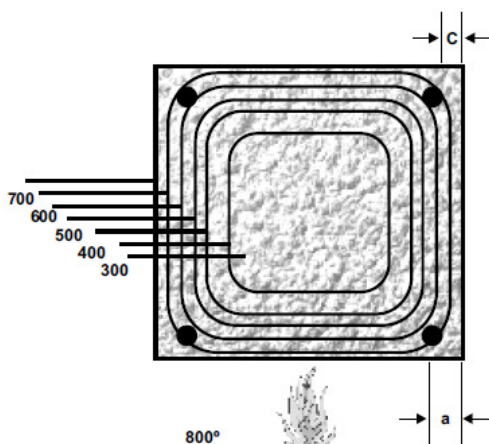


Figura 22: Distribuição de temperatura na seção transversal de um elemento de concreto exposto ao fogo nas 4 faces.

Fonte: VARGAS; SILVA, 2003, p.28.

Vargas e Silva (2003) comentam que as estruturas de aço em edifícios são normalmente ligadas a outros elementos estruturais (concreto) ou a outros elementos construtivos (alvenaria). Pela cuidadosa integração dos elementos de aço com os elementos

¹⁸ Fator de massividade (u/A) é a razão entre o perímetro exposto ao incêndio e a área da seção transversal de um perfil estrutural.

Segundo Silva (2004), fator de massividade de um corpo (F), é a relação entre a área exposta ao fogo (A_a) e o volume (V) aquecido do corpo.

adjacentes, pode-se obter vantagens de suas respectivas características, tais como resistência térmica e isolamento térmico.

Os elementos de aço podem ser parcialmente integrados ao concreto, com algumas partes aparentes, (conforme Figuras 23).

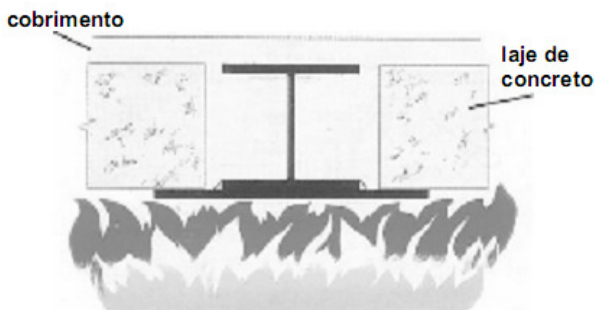


Figura 23: Piso tipo “Slim Floor”

Fonte: BRITISH STEEL, 1998, apud VARGAS e SILVA, 2003, p.33.

Nos elementos totalmente incorporados, (Figura 24), o isolamento propiciado pelo concreto, restringe o aumento de temperatura não aço.

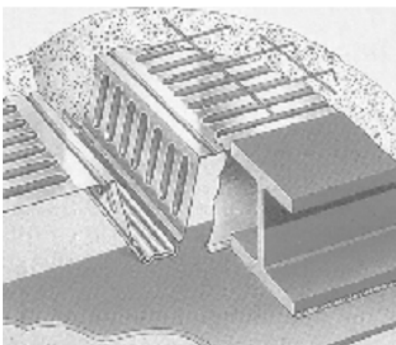


Figura 24: Piso tipo “Steel Deck”

Fonte: BRITISH STEEL, 1998, apud VARGAS; SILVA, 2003, p.33.

O concreto, quando dimensionado adequadamente para determinada situação de exposição a altas temperaturas, é considerado um material de proteção térmica.

Para TRRF, a resistência ao carregamento das lajes mistas aço-concreto (*steel deck*), em situação de incêndio, será considerada adequada se a espessura de concreto acima da fôrma não for menor que os valores dados na Tabela 15, e a estrutura de suporte da laje possuir pelo menos a mesma resistência a incêndio da laje, (NBR 14323/1999).

Tabela 15: Espessura mínima de concreto acima da forma de aço

Tempo requerido de resistência ao fogo (minuto)	Espessura mínima do concreto (mm)	
	Densidade normal	Baixa densidade
60	90	65
90	100	75
120	110	85

Fonte: ABNT, 1999, p.43.

Em elementos estruturais como laje mista de aço-concreto, em seu acabamento pode ocorrer necessidade de execução de forro falso para ter um tratamento final satisfatório.

As proteções térmicas compostas por materiais projetados (argamassas)/ spray, painéis em fibras, não apresentam um bom acabamento superficial. Dependendo do ambiente, da severidade local (ambientes abertos) e da proteção térmica aplicada (placas de fibras ou argamassas), não será necessário acabamento complementar.

Conforme a NBR 14323/1999, em seu Projeto de revisão 14432/2003, item C.2.2.1, pode-se aumentar a resistência em situação de incêndio de lajes mistas usando-se os seguintes meios de proteção:

- pulverização de material de proteção térmica na face inferior da fôrma de aço (*steel deck*);
- colocação de forros suspensos que proporcionem proteção térmica (neste caso, deve-se comprovar, por meio de ensaios ou por métodos construtivos recomendados por normas ou especificações estrangeiras, que os mesmos mantenham-se íntegros durante a ocorrência do incêndio). (ABNT, 2003, p, 76).

Segundo Seito *et al.* (2008), materiais de base cimentícia ou gesso contendo fibras minerais, vermiculita expandida e outros agregados leves são, de forma geral, os produtos de revestimento contra fogo mais barato; eles podem fornecer resistência ao fogo de até 240 minutos, dependendo da espessura.

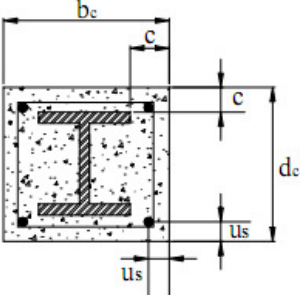
Conforme a NBR 14323/1999, Projeto de revisão NBR 14323/2003, itens C.2.2.2, a espessura efetiva mínima necessária para se garantir o critério de isolamento térmico de acordo com C.2.1.2 (isolamento térmico) poderá ser reduzida de uma espessura equivalente em concreto do material de proteção, calculada em função da relação entre as condutividades térmicas dos dois materiais.

Ainda em seu projeto de revisão, a NBR 14323/2003 – Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço-concreto de edifícios em situação de incêndio – procedimentos, acrescenta elementos estruturais mistos aço-concreto. O uso de estruturas mistas de aço-concreto tem sido motivo de estudos por muitos pesquisadores. No 51^o Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON (2009), foram apresentados cinco artigos científicos relacionados com o tema.

Seito *et al.*, (2008) comentam: o concreto moldado “in loco” tem sido utilizado como proteção anti-térmica desde os primórdios da construção em aço.

De acordo com a NBR 14323/1999, os pilares mistos constituídos por perfis I ou H de aço totalmente revestidos com concreto são classificados em função das dimensões externas d_c e b_c , do cobrimento (c) de concreto na seção de aço e da distância mínima u_s do eixo de uma barra da armadura à face do concreto, conforme as duas soluções alternativas apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16: Dimensões mínimas da seção transversal, cobrimento mínimo de concreto da seção de aço e distâncias mínimas dos eixos das barras da armadura à face do concreto.

		Tempo requerido de resistência ao fogo (min)			
		30	60	90	120
1.1	Dimensões mínimas de d_c e b_c (mm)	150	180	220	300
1.2	Cobrimento mínimo de concreto para a seção de aço estrutural c (mm)	40	50	50	75
1.3	Distância mínima da face ao eixo das barras da armadura u_s (mm) ou	20	30	30	40
2.1	Dimensões mínimas de d_c e b_c (mm)	-	200	250	350
2.2	Cobrimento mínimo de concreto para a seção de aço estrutural c (mm)	-	40	40	50
2.3	Distância mínima da face ao eixo das barras da armadura u_s (mm)	-	20	20	30

Fonte: ABNT, 1999, p.31.

Conforme a ABNT, através da NBR 14323/1999, em seu Projeto de revisão, NBR 14323/2003, Anexo B, itens:

B.2.2.2, a armadura longitudinal do concreto deverá consistir de um mínimo de 4 barras de aço com diâmetro de 12,5 mm. Em todos os casos, os percentuais de armadura deverão satisfazer aos limites estabelecidos em R.1.3 (anexo R) da NBR 8800. As dimensões e o espaçamento das barras dos estribos devem obedecer a NBR 6118;

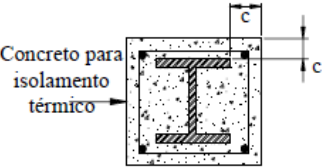
B.2.2.3, se o concreto envolvendo a seção de aço tem apenas função de isolamento térmico, os tempos requeridos de resistência ao fogo de 30 min a 120 min podem ser atendidos com um cobrimento de concreto (c) do perfil de aço conforme a Tabela 06. Para o tempo requerido

de resistência ao fogo de 30 min, é necessário aplicar o concreto apenas entre as mesas da seção de aço;

B.2.2.4 Quando o concreto tem apenas função de isolamento térmico, deve ser colocada em volta do perfil de aço à armadura longitudinal mínima citada em B.2.2.3, aumentada se for o caso para manter um espaçamento máximo de 250 mm entre as barras em ambas as direções. A distância do eixo das barras da armadura longitudinal à superfície externa do pilar deverá ser no mínimo igual a 20 mm, não devendo, no entanto, exceder 50 mm. (ABNT, 2003, p.53).

Os perfis I ou H utilizados como componentes estruturais (pilares), quando protegidos por concreto conforme as figuras das Tabelas 16 e 17, apresentam acréscimos dimensionais maiores que os revestimentos com argamassas ou tintas intumescentes, e menores que os revestimentos por alvenarias.

Tabela 17: Cobrimento de concreto (c) com função apenas de isolamento térmico.

 <p>Concreto para isolamento térmico</p>	Tempo requerido de resistência ao fogo (min)			
	30	60	90	120
Cobrimento de concreto c (mm)	0	25	30	40

Fonte: ABNT , 1999, p.31.

O acréscimo de área resultante da proteção térmica no acabamento do elemento estrutural (perfil) reflete em perdas de área útil do ambiente, como ocorre em estruturas de concreto armado, principalmente nos pilares dos primeiros pavimentos; porém, em situações mais críticas, como em garagens onde a largura de acessos para os automóveis, na maioria das vezes projetados para o mínimo

exigido pelos códigos de obras dos municípios, ficam prejudicados e, na maioria das vezes, inviabilizados.

A opção da proteção térmica tem que ser viabilizada na fase inicial do projeto de edificações. Verificando as suas particularidades no resultado final de acabamento, em projeto executivo, grande parte dos problemas estarão solucionados.

O concreto moldado “in loco” (e também o concreto pré-moldado) tem sido utilizado como proteção antitérmica desde os primórdios da construção em aço (FREITAG, 1899 apud SEITO *et al.* 2008).

Segundo Seito *et al.* (2008), “as proteções térmicas oferecem uma solução esteticamente adequada a grande número de situações e a um custo relativamente pequeno”.

Segundo a NBR 14323 (ABNT, 1999), em seu Anexo A (normativo), item A.2.1.1, do projeto de revisão NBR 14323/2003:

Quando o componente de aço em perfil I não for envolvido por material de proteção contra incêndio ou possuir proteção tipo contorno, a distribuição de temperatura no mesmo deve ser tomada como não-uniforme, com a seção transversal dividida em três partes (mesa inferior, alma e mesa superior). (ABNT, 2003, p. 42).

Nesse caso, considera-se que não ocorra transferência de calor entre estas partes e nem entre a mesa superior e a laje de concreto, (conforme a Figura 25).

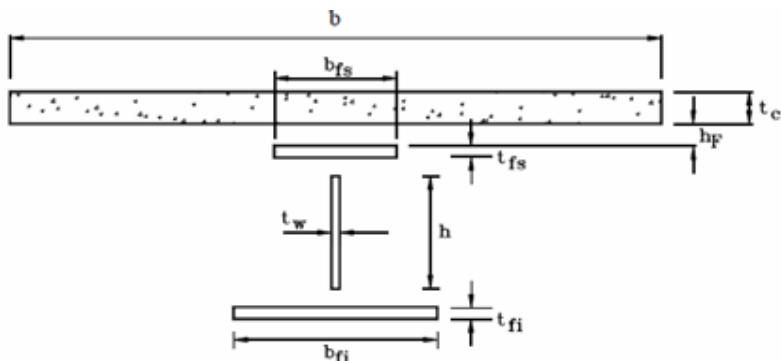


Figura 25: Divisão do comportamento de aço em perfil I para distribuição de temperatura (viga)

Fonte: ABNT, 2003, p.43.

4.4 Outros tipos de proteção térmica

A proteção térmica dos elementos estruturais de aço (proteção passiva) é o meio mais comum de se proteger o aço contra o incêndio. Além de concreto e madeira, vários outros materiais são utilizados com esta finalidade, tais como, as tintas ignífugas não intumescentes, ignífugas intumescentes, placas rígidas e semi-rígidas, mantas cerâmicas ou de lã de rocha basáltica, argamassas projetadas, gesso acartonado e outros.

4.4.1 Tintas ignífugas não intumescentes

Conforme o tipo de substrato poderá ser:

a) Quando em contato com o fogo, a solução aplicada que penetrou no material protegido se carboniza, evitando a propagação das chamas e liberação de gases combustíveis. Esse sistema se aplica para os materiais porosos, porém, deve-se observar que certos tipos de madeiras impermeáveis não poderão utilizar tinta ignífuga não intumescente com essas características.

b) Quando em contato com o fogo, o produto se decompõe, liberando gases (vapor de água e CO_2), que abafam as chamas. Nesse sistema não há necessidade de haver porosidade para aplicação da pintura não intumescente.

Aplicação: aço, madeiras como proteção térmica, forros de madeira (alguns fabricantes recomendam também para plásticos e papelão).

As tintas não intumescentes propiciam um TRRF que variam de 30 a 60 minutos.

A utilização desse sistema de proteção térmica em madeira se aplica quando, além da proteção térmica calculada para um determinado TRRF, em que a madeira deverá resistir, a contribuição para o retardamento de chamas que esses produtos oferecem, agregam segurança adicional no elemento estrutural protegido (APÊNDICE A).

4.4.2 Tintas ignífugas intumescentes

Um sistema intumescente possui, de modo geral, três componentes: um primer, a tinta intumescente (a fase que reage) e um selante (a pintura de acabamento). Em algumas situações, o primer ou o acabamento podem não ser necessários.

Segundo Seito *et al.* (2008), os revestimentos intumescentes mais empregados na construção de edifícios podem ser tanto de base solvente quanto base de água, e tipicamente possuem uma espessura de película seca menor do que 3 mm. Revestimentos intumescentes são muito utilizados na proteção de estruturas de aço para períodos de resistência ao fogo de trinta e sessenta minutos, e seu uso para noventa minutos tem aumentado em alguns países, porém, sua resistência ao fogo pode chegar a 120 minutos, dependendo a espessura da película.

Sob condições de calor e chama, a tinta intumescente forma uma camada de espuma rígida protetora que isola termicamente o elemento estrutural e, dependendo da espessura do filme aplicado, pode protegê-lo em condições seguras, ou seja, abaixo da temperatura crítica de colapso (θ_{cr}), por um período (TRRF) que pode chegar a 2 horas. É um sistema especialmente recomendado para aços estruturais (internos ou externos), apresentando um ótimo acabamento (APÊNDICE B).

Aplicação em elementos estruturais em aço.

As tintas intumescentes propiciam um TRRF que varia de 30 a 120 minutos.

4.4.3 Placas rígidas e semi-rígidas

Materiais rígidos ou semi-rígidos são fôrmas aplicadas a seco, tanto na forma de “caixas” quanto de “envolventes”. Esse grupo de materiais incluem as fibras cerâmicas, a lã de rocha basáltica, o silicato de cálcio, gesso (placas de gesso acartonado ou o próprio gesso em placas ou moldado) e vermiculita.

As placas de gesso acartonado e vermiculita são duras e lisas, possuindo aparência agradável. Por outro lado, são vulneráveis ao impacto. As mantas de fibras minerais (fibra cerâmica e lã de rocha basáltica) são macias ao toque e flexíveis.

Segundo Seito *et al.* (2008), os problemas potenciais associados às fibras “soltas” são minimizados, em países desenvolvidos, pela utilização de um cobrimento composto de uma fina folha de alumínio. A aparência visual variará de acordo com o sistema escolhido.

Segundo Vargas e Silva (2003):

[...] placas são elementos pré-fabricados fixados na estrutura por meio de pinos ou perfis leves de aço, proporcionando diversas possibilidades de acabamento. Geralmente são compostas com materiais fibrosos ou vermiculita ou gesso ou combinação desses materiais (VARGAS; SILVA, 2003, p, 42).

Aplicação principal em estruturas metálica em aço.

As placas rígidas e semi-rígidas propiciam um TRRF que variam de 30 a 120 minutos.

4.4.4 Mantas cerâmicas ou de lã de rocha basáltica

As mantas flexíveis são formadas por um aglomerante de fibras sílico-aluminosas e produtos oriundos da fusão de rocha de origem basáltica. Apresentam altas resistências à temperatura e ao fogo, com ponto de fusão acima de 1100°C, e com temperatura máxima recomendada para operação contínua, de 750°C. Não retêm água, uma vez que possuem estruturas não capilares e as alterações, perante eventuais condensações, são nulas.

Segundo Silva (2004), as mantas podem ser aplicadas no contorno dos perfis, por meio de pinos de aço previamente soldados e são boas alternativas para a proteção de estrutura de edificações já em funcionamento, uma vez que estes sistemas geram menos sujeiras que os materiais projetados.

Aplicação principal em estruturas metálica em aço.

As mantas cerâmicas ou de lã de rocha propiciam um TRRF que variam de 30 a 120 minutos.

4.4.5 Argamassas projetadas “cimentitious”

As argamassas projetadas têm este nome porque são aplicadas por jateamento. São materiais econômicos, porém, não apresentam bom acabamento (por exemplo, aspecto de chapisco). Os materiais projetados foram desenvolvidos especificamente para proteção passiva das estruturas.

Segundo Mendes *et al.*, (2006) :

Estes materiais são os mais utilizados para a proteção de estruturas metálicas em todo o mundo e já foram especificados para a proteção contra incêndio em grandes edifícios, como o Sears Towers, World Trade Center, Torres Petronas, entre outros. (MENDES, *et al.*, 2006, p.74).

Este tipo de sistema é composto de argamassa à base vermiculita expandida, fibras minerais e aglomerantes minerais (cal, gesso e cimento portland) que têm densidades nominais aparentes a partir de 240 kg/m³, podendo chegar mais de 900 kg/m³ dependendo da formulação e respectiva finalidade e utilização.

Vargas e Silva (2003) comentam:

5.1.1 Argamassa projetada “cimentitious” consiste de agregados e aglomerantes misturados com água, formando uma massa fluida, que é transportada por meio de uma mangueira até o esguicho, onde o ar comprimido faz o jateamento diretamente na superfície do

aço. O resultado é uma superfície rugosa, mais apropriada para elementos acima de forros ou para ambientes menos exigentes. A argamassa geralmente é constituída de gesso ou vermiculita, cimento, resinas acrílicas e cargas inertes, tais como poliestireno expandido e celulose. (VARGAS; SILVA, 2003, p.42).

Em outros países, como os Estados Unidos, por exemplo, existem variados tipos dessas argamassas, as quais são classificadas com relação à composição química, utilização, fornecedor, custos, entre outros aspectos.

Mendes *et al.*, (2006) comentam:

Já no Brasil, elas são encontradas apenas de três formas diferentes, listadas a seguir:

- Argamassas cimentícias: compostas por materiais aglomerantes, como gesso e cimento, em grande quantidade, e resinas acrílicas. As composições dos aglomerantes variam de acordo com a sua utilização, variando-se assim o peso específico do material.
- Fibras projetadas: compostas por lã de rocha e materiais aglomerantes, sendo o último em menor quantidade. São de baixa densidade, 240 kg/m³, e indicadas para usos interiores e exteriores.
- À base de vermiculita: composto de agregados leves à base de vermiculita, cimento hidráulico e aglomerantes minerais. (MENDES, 2006, p.74).

Sua aplicação principal ocorre em estruturas de aço.

Argamassas projetadas “cimentitious”, dependendo da espessura utilizada, podem propiciar um TRRF de até 240 minutos.

4.4.6 Argamassas com fibras projetadas

São constituídas por agregados, fibras minerais e aglomerantes que são transportadas sob baixa pressão por meio de uma mangueira

até o esguicho onde são misturadas com água atomizada e jateadas diretamente na superfície do aço.

Segundo Vargas *et al.* (2010) “as argamassas projetadas contendo fibras consistem de agregados, fibras minerais e aglomerantes (por exemplo, cimento Portland)”. (SILVA *et al.*, 2010, p.56).

Resulta principalmente numa superfície rugosa, assim como as argamassas projetadas “cimentitious”, mais adequada para elementos acima de forros ou ambientes menos exigentes.

Sua aplicação principal se dá em estruturas metálica de aço.

Argamassas com fibras projetadas propiciam um TRRF até 120 minutos.

4.4.7 Gesso acartonado resistente ao fogo (GARF)

As placas de GARF, com fibras de vidro e vermiculita incorporadas, tornam-se resistentes ao fogo, porém, deve-se utilizá-las no interior das edificações, pois externamente sofrem agressão da umidade. O material é rígido, com aplicação limpa e rápida, excelente para divisórias corta-fogo, método semelhante ao sistema de vedação *dry-wall* e, também, em envolvimento de perfis estruturais em aço, tipo caixa ou contorno. O tempo de resistência ao fogo pode variar, dependendo das espessuras das placas, de como são aplicadas, das quantidades utilizadas para formar uma espessura compatível com a resistência solicitada, entre outras.

Sua aplicação principal ocorre em estruturas em aço.

As placas gesso acartonado RF propiciam um TRRF que variam de 30 a 120 minutos.

4.5 Produtos para proteção térmica disponível no mercado brasileiro

Na década de 1990, o custo das proteções térmicas das estruturas metálicas era elevado, se comparado aos valores praticados na atualidade. Com a abertura para o mercado internacional, vários fabricantes consagrados no exterior, por produzirem materiais de proteção térmica, instalaram seus representantes no Brasil. Com isso,

possibilitou-se agregar qualidade e segurança às edificações com estruturas metálicas¹⁹.

4.5.1 Tintas ignífugas intumescentes

Há vários produtos disponíveis no mercado nacional, a Tabela 18 apresenta alguns deles.

Tabela 18: Tintas intumescentes empregados no mercado brasileiro

PRODUTO	FABRICANTE	REPRESENTANTE NO BRASIL
Nullifire S605 e S607	Carboline	Unifrax Brasil
Firetex	Leigh's Paints	Morganite do Brasil
Sprayfilm	Isolatek International	Morganite do Brasil
Interchar 963	Tintas Internacional	Produzido no Brasil
Firesteel 47-A	Firetherm	CKC do Brasil
Calatherm 600	Tintas Calamar	Produzido no Brasil

Fonte: SEITO *et al.*, 2008, p.158.

A tinta intumescente é aplicada por meios convencionais, pistola, rolo ou pincel, proporcionando textura e aparência e cores similares às pinturas convencionais (APÊNDICE B).

4.5.2 Placas rígidas e semi-rígidas

Segundo Seito *et al.* (2008), materiais rígidos ou semi-rígidos são fôrmas aplicadas a seco, tanto na forma de “caixas” quanto de “envolventes”. Esse grupo de materiais inclui as fibras cerâmicas, a lã de rocha basáltica, o silicato de cálcio, gesso (placas de gesso acartonado ou o próprio gesso) e vermiculita, (Tabela 19).

¹⁹ Dados extraídos do site da empresa Refrasol, disponível em: http://www.refrasol.com.br/estruturas_metálicas.htm

Tabela 19: Materiais rígidos ou semi-rígidos produzidos e empregados no mercado brasileiro

PRODUTO	FABRICANTE	MATERIAL
PEM Thermax	Rockfibras	Lã de rocha basáltica
Firemaster	Morganite do Brasil	Fibra cerâmica
Firewrap B6	Morganite do Brasil	Fibra cerâmica
Placo	Placo do Brasil	Gesso acartonado
Knauf	Knauf do Brasil	Gesso acartonado
Gypsum	Lafarge	Gesso acartonado

Fonte: SEITO *et al.*, 2008, p.156.

4.5.3 Materiais projetados

Segundo Vargas e Silva (2003), as proteções térmicas com materiais projetados são constituídas por agregados, fibras minerais e aglomerantes. É transportada sob baixa pressão por meio de uma mangueira até o esguicho, onde é misturada com água atomizada e jateada diretamente na superfície do aço. Resulta numa superfície rugosa, também, mais adequada para elementos acima de forros (vigas, lajes steel deck) ou para ambientes menos exigentes (depósitos, pavilhões industriais, entre outros).

De acordo com Seito *et al.* (2008), esses materiais são conduzidos, dentro do equipamento de aplicação, na condição seca (fibras projetadas) ou úmida (materiais de base gesso contendo vermiculita), (Tabela 20).

Tabela 20: Materiais projetados empregados no mercado brasileiro

PRODUTO	FABRICANTE	REPRESENTANTE NO BRASIL
Blaze Shield II	Isolatek internacional	Morganite do Brasil
Cafoo 300	Isolatek internacional	Morganite do Brasil
Fendolite	Isolatek International	Morganite do Brasil
Pyrolite 15 HY	Carboline	Unifrax Brasil
Pyrolite 22	Carboline	Unifrax Brasil
Pyrolite 40	Carboline	Unifrax Brasil
Termosist	Grupo Sistema	Produzido no Brasil
Isobrax	Magnesita	Produzido no Brasil
Isopiro	Eucatex	Produzido no Brasil
Isopiro LV	Eucatex	Produzido no Brasil
Monokote MK6	Grace	Grece do Brasil

Fonte: SEITO *et al.*, 2008, p.56.

CAPÍTULO 5: PROTEÇÃO TÉRMICA EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO E O PROJETO DE EDIFICAÇÕES

5.1 Proteções térmicas – Arranjos e soluções

A proteção térmica aos componentes de aço de uma estrutura apresenta uma variedade de arranjos e soluções, atrelados aos valores estéticos, resistência, custo, entre outros, que o arquiteto deve conhecer quando da elaboração do projeto de edificações.

5.2 Proteção térmica em elementos estruturais

A exigência normativa imposta para proteções térmicas em componentes estruturais em aço, tem como meta resguardá-los da ação das chamas e do calor, mantendo todo o seu potencial de resistências aos vários esforços.

Elementos estruturais, tais como aço e concreto ou elementos mistos (aço/concreto), quando expostos a altas temperaturas degeneram as suas características físicas e químicas, causando redução da resistência e da rigidez, que deve ser levado em conta no dimensionamento das estruturas em situação de incêndio, assim como o tipo de proteção térmica que melhor satisfaça às solicitações estruturais e, também, contemple as soluções do projeto das edificações.

Em pilares e vigas, deve-se concentrar maior atenção quando da necessidade de protegê-los contra as chamas e altas temperaturas, em situação de incêndio, devido aos esforços a que estarão sujeitos. Igualmente, não se deve desprezar as lajes quanto às solicitações a que estarão submetidas.

5.2.1 Pilares

Pilares são elementos estruturais responsáveis por sustentar as cargas provenientes das vigas e lajes e pela transmissão às fundações, sendo a compressão simples o principal esforço a que são submetidos.

Rebello (2009) cometa:

Como é sabido, a grande preocupação no trato com pilares, principalmente em estruturas de

aço, encontra-se no fenômeno da flambagem. Um bom projeto pensa no adequado travamento dos pilares, com vigas e contraventamentos. É também importante considerar a direção em que se coloca o pilar, para que sua direção mais rígida coincida com aquela em que o travamento é menos eficiente. É bom lembrar ainda que os pilares, além de compressão simples, podem estar sujeitos à flexão quando solicitados por forças horizontais. Diz-se, neste caso que o pilar está sujeito à flexão composta (flexão + compressão simples), (REBELLO, 2009, p.41).

A Figura 26 ilustra pilares sujeitos à compressão simples, compressão simples com flambagem e compressão simples com Flexão.

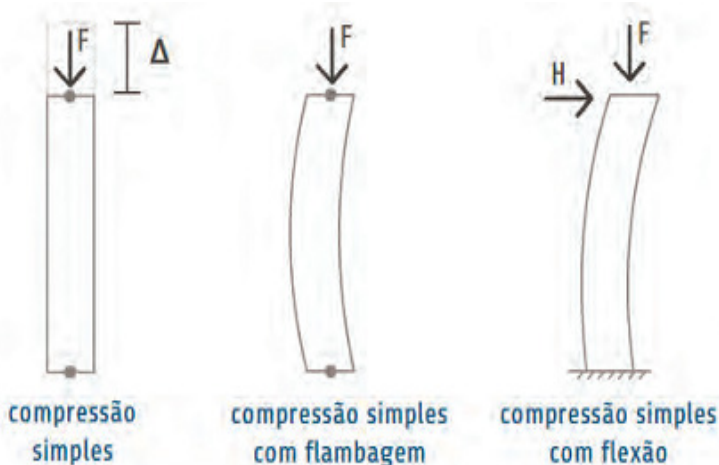


Figura 26: Pilares submetidos aos esforços de compressão simples, flambagem e flexão.

Fonte: RABELLO; 2009, p.41.

Quanto à forma de aplicação de proteção térmica em pilares, ela pode apresentar características inerentes ao ambiente e a aparência (conforme Figura 27).



Figura 27: Forma de aplicação de proteção térmica em pilares.

Fonte: PANNONI, 2009, p.26.

Os perfis mais comuns utilizados em pilares nas estruturas de aço são os perfis H e os tubulares. O primeiro apresenta a vantagem de ser aberto, facilitando a ligação com as vigas e sua manutenção. Os segundos apresentam a vantagem de grande rigidez, mas têm contra si a maior dificuldade na concepção das ligações e o problema da deterioração ocorrer de dentro para fora, dificultando o aspecto da manutenção.

Em pilares situados no interior da edificação ou em fachada, pode-se adotar sistemas de proteções térmicas que os resguardecem da ação das chamas ou altas temperaturas, adotando soluções de elementos estruturais integrados, estruturas mistas ou estruturas revestidas com material de proteção térmica, compatíveis com o projeto de edificações.

De acordo com Seito *et al.* (2008), na construção civil, em especial de edifícios, é comum encontrar elementos de aço em contato com elementos robustos (lajes e alvenaria), constituindo-se as estruturas mistas ou estruturas integradas. As estruturas integradas são aquelas em que o aço, a altas temperaturas, transfere calor para o concreto ou para a alvenaria, sem, no entanto, haver solidariedade estrutural.

Coelho (2007) assinala que:

É essencial na construção industrializada, dedicar-se mais tempo ao projeto e ao planejamento, em benefício de maior rapidez na execução da obra. A escolha dos elementos construtivos e a sua melhor combinação são fatores preponderantes para a racionalização da construção e a redução de prazos e custos. Nesse contexto, referindo-nos à construção em aço, a interface entre as vedações (paredes e lajes) e a

estrutura requerem atenção especial, visando aumentar a velocidade da construção e prevenindo eventuais patologias. (COELHO, 2007, p.3).

Segundo Vargas e Silva (2003), as estruturas de aço em edifícios são normalmente ligadas a outros elementos estruturais (concreto) ou a outros elementos construtivos (alvenaria). Pela cuidadosa integração dos elementos de aço com os elementos adjacentes, pode-se obter vantagens de suas respectivas características, tais como, resistência térmica e isolamento térmico.

A seguir serão apresentadas as alternativas de proteção térmica em pilares:

A) Pilares protegidos por paredes de blocos

a1) Pilares integrados com paredes de blocos (interno/externo)

Elementos de aço podem ser parcialmente integrados (conforme Figura 28), ou com o mínimo de exposição do perfil, (conforme Figura 29), entretanto, uma solução intermediária pode ser utilizada, quando o perfil apresentar uma área maior de exposição às chamas e ao calor que as demais soluções (Figura 30).

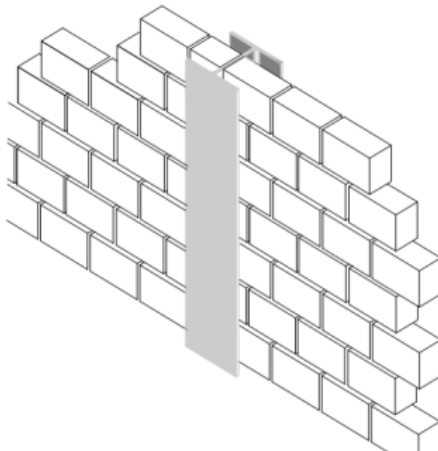


Figura 28: parcialmente integrado à parede de blocos

Fonte: VARGAS; SILVA, 2003, p.33.

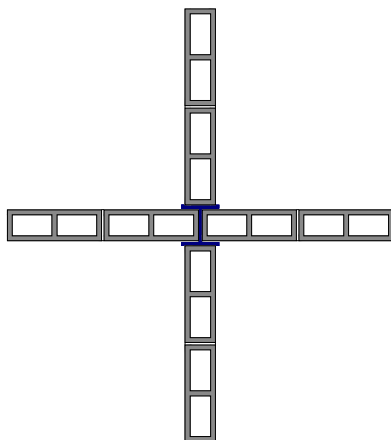


Figura 29: Pilar interno incorporado às paredes.

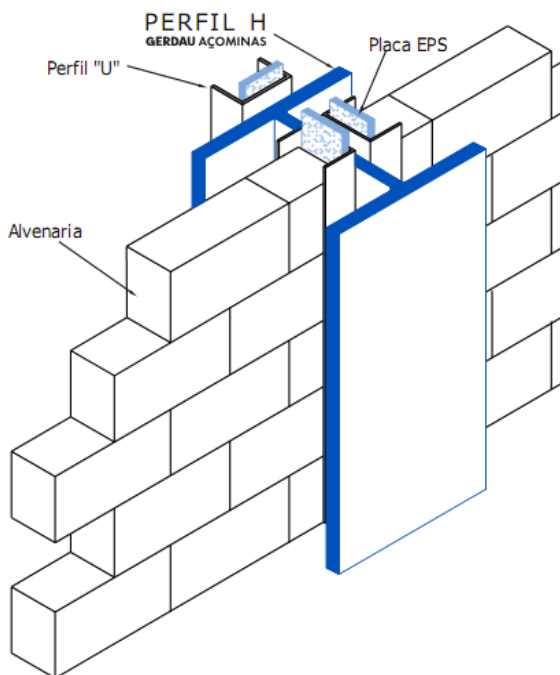


Figura 30: Pilar incorporado parcialmente às paredes.

Fonte: COELHO, 2007, p.44.

Na interação com o projeto de edificações, as soluções apresentadas nas Figuras 28 e 29 pouco interferem em acréscimo dimensional, principalmente quando o perfil utilizado apresenta dimensões que possibilitem uma aproximação com espessuras das paredes. Ao integrá-los na alvenaria, consegue-se uma diminuição da área exposta ao fogo, resultando economia com material de proteção térmica ou até eliminando-os. O ideal é sempre posicionar os pilares, em relação à alvenaria, conforme Figuras 28, 29 e 30, com os blocos encostados na alma²⁰ do perfil, evitando, principalmente, as reações de flambagem. O aspecto de acabamento (aparência), principalmente, como ilustrado na Figura 30, dependerá da criatividade do arquiteto, em situação em que, complementos de acabamento (revestimento) ou mesmo uso da estrutura aparente, podem ser soluções viáveis.

a2) Pilares periféricos (externo) integrados com paredes de blocos

Vargas e Silva (2003, p.54) comentam que muitos edifícios modernos têm sido construídos com estrutura em aço externa à fachada. Nessas condições, a estrutura é aquecida apenas pelas chamas que emanam da janela ou de outras aberturas na fachada do edifício. É possível que os elementos estruturais externos possam dispensar proteção térmica, mantendo a necessária segurança contra incêndio, se eles forem posicionados de forma adequada em relação às aberturas das fachadas.

O posicionamento dos pilares em relação à alvenaria deve ser bem estudado. O simples arranjo da posição relativa entre pilares e alvenaria pode proporcionar economia significativa de proteção térmica. Vários são os arranjos que podem fazer parte de detalhamento de projeto de edificações em estrutura metálica. Os ANEXOS R e S, demonstram várias situações de posicionamento de pilares em fachada. Assim, destacam-se, dentre elas, algumas que mais interferem em acréscimo dimensional, (Figura 31a), e acabamento (estética) (Figura 31b).

²⁰ No perfil metálico (I ou H), *alma* é a região metálica que fica entre as aba ou mesas. Sendo que nos perfis H, a altura da alma, é igual à largura da aba ou mesa.

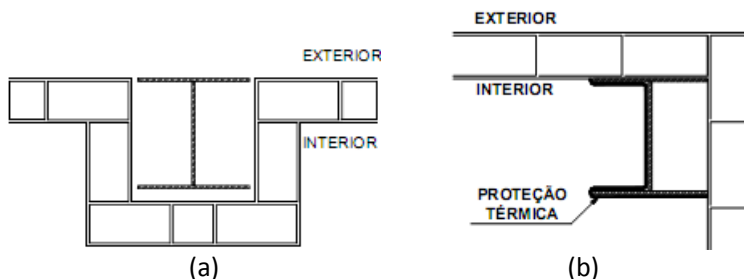


Figura 31: Pilar de fachada (linha) – interface com alvenaria (a), Pilar de Fachada (canto) – interface com alvenaria (b).

Fonte: VARGAS; SILVA, 2003, p.63.

B) Pilares mistos (aço/concreto), protegidos por concreto

Seito *et al.* (2008) defendem a ideia de que as estruturas mistas de aço e de concreto são aquelas em que ambos os materiais trabalham de forma solidária para resistir aos esforços externos. Em situação de incêndio, há transferência de calor entre os elementos estruturais. Têm-se, por exemplo, as vigas, as lajes e os pilares mistos de aço e concreto.

Segundo Pannoni (2004), até o fim dos anos 70, o concreto era o meio de proteção mais comum de estruturas metálicas em vários países do mundo. Entretanto, a introdução de sistemas industrializados de baixo peso no mercado no mercado, tais como, os produtos rígidos, projetados e intumescentes, propiciou uma redução dramática em seu uso. Atualmente, em vários países desenvolvidos, como a Inglaterra, o enclausuramento em concreto corresponde a uma pequena porcentagem da proteção.

As desvantagens da proteção com concreto são o custo (é uma das mais caras formas de proteção), a velocidade (consome tempo na obra), o peso (a edificação ficará muito mais pesada) e a redução de espaço ao redor das colunas.

Para Vargas e Silva (2003), o pilar misto deve ser projetado e executado, obedecendo às hipóteses adotadas para a elaboração das tabelas e os detalhes construtivos fornecidos pela norma.

Esses mesmos autores destacam que a utilização de elementos mistos em estruturas metálicas, além das vantagens obtidas em termos estruturais, como melhor aproveitamento das propriedades do aço e

do concreto, pode proporcionar grande economia na proteção térmica das estruturas (VARGAS; SILVA, 2003, p.65).

Há três tipos de pilares mistos: totalmente envolvidos por concreto (enclausurados), parcialmente envolvidos por concreto, e tubulares preenchidos com concreto (Figura 32).

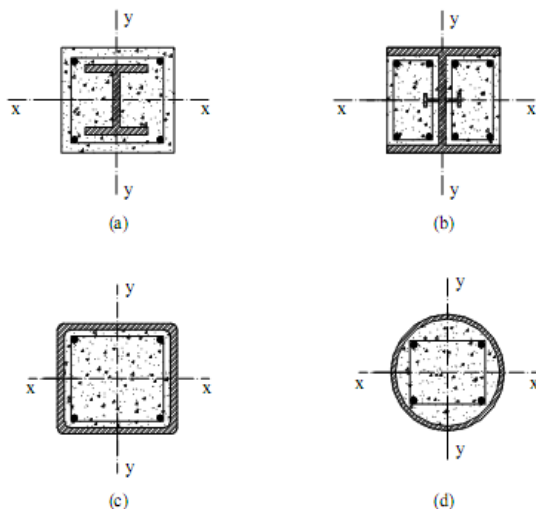


Figura 32: Tipos de seções transversais de pilares mistos.

Fonte: ABNT, 2003, p.52.

b1) Pilares totalmente envolvidos por concreto (enclausurados)

Nas condições de dimensionamento do pilar à temperatura ambiente e que tenha resistências às temperaturas elevadas, o TRRF deve ser observado, assim como os valores normativos mínimos exigidos: seções, cobrimento, distância da face ao eixo das barras da armadura, entre outras. O cobrimento c^{21} de concreto com função apenas de isolamento térmico apresenta valores variáveis conforme o TRRF. A variação do cobrimento de concreto (c) para as condições em que os pilares estão dimensionados como elementos mistos, em que o concreto, além de desempenhar funções de isolamento térmico, também desempenha funções estruturais, o afastamento da face do

²¹ C = cobrimento mínimo de concreto – c (mm)

pilar ao perfil metálico (c) varia de 40 a 75 mm, (Figura 33), dependendo do TRRF exigido.

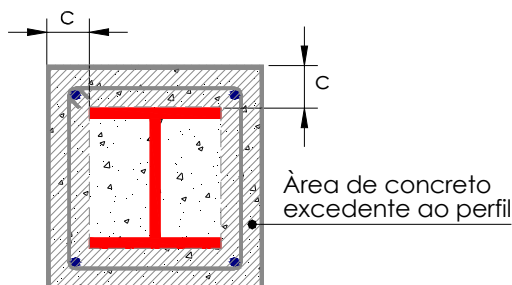


Figura 33: Seções transversais de pilares mistos – Cobrimento “ c ”.

A principal vantagem na utilização do concreto como material de proteção passiva diz respeito à durabilidade. O enclausuramento tende a ser utilizado quando o componente em aço está sujeito ao risco por impacto, abrasão ou exposição ao intemperismo, (Figura 34), característico de estacionamentos.



Figura 34: Pilares mistos – Execução da proteção térmica

Fonte: PANNONI, 2009, p.44.

Os acréscimos dimensionais que essa solução de pilar misto apresenta têm como valor mínimo 80 mm (40 + 40, para TRRF de 30 minutos), ou seja, $c + c$, e 150 mm (75 + 75, para TRRF de 120 minutos), valores menores se comparado a uma estrutura de concreto,

dimensionada, para as mesmas condições de esforços solicitantes. Em situações extremas, o acréscimo dimensional máximo que essa solução de pilares mistos apresenta é de 150 mm para cada face do pilar. Essa interação não pode ser desprezada na verificação final do projeto de edificações, mesmo sabendo que esse tipo de solução, aliando resistência às altas temperaturas e esforços mecânicos, incorpora a proteção térmica na concepção final do projeto estrutural, semelhante a um projeto estrutural em concreto, onde o acabamento segue o convencional, em revestimentos adequados ao ambiente.

b2) Pilares parcialmente envolvidos por concreto

A utilização dessa solução não adiciona valores dimensionais que possam interferir, além do perfil metálico. O concreto envolvido no perfil fica parcialmente enclausurado entre a alma e a mesa e, além da função de proteção térmica parcial, desempenha função de suporte de cargas (Figura 35); as especificações de distâncias (b_c), " A_s^{22} ", " A_c^{23} ", entre outras, são apresentadas no ANEXO T.

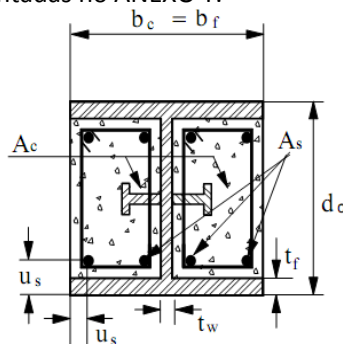


Figura 35: Seção transversal de pilar misto parcialmente envolvido por concreto

Fonte: ABNT, 2003, p.55.

Os aspectos de acabamento podem ser tratados da mesma forma que as estruturas metálicas, onde a criatividade do arquiteto pode gerar elementos visualmente agradáveis (Figura 36).

²² Área da seção das barras de aço para concreto armado.

²³ Área de concreto inclusa no perfil H



Figura 36: Pilar misto parcialmente envolvido por concreto

Fonte: PANNONI, 2003, p.10.

b3) Pilares tubulares preenchidos com concreto

De acordo com Jacinto *et al.* (2009), o aço e o concreto têm bom comportamento em termos de capacidade resistente, tanto em temperatura ambiente, quanto em altas temperaturas, principalmente na forma de tubos preenchidos com concreto, porque o concreto retarda a velocidade de aumento da temperatura no aço e aumenta a rigidez do elemento estruturas, ao retardar a flambagem local do tubo. Espessura da parede do tubo, resistência do concreto, diâmetros das barras de aço, entre outras, são importantes na adoção desse sistema, (conforme Figura 37) e ANEXO U.

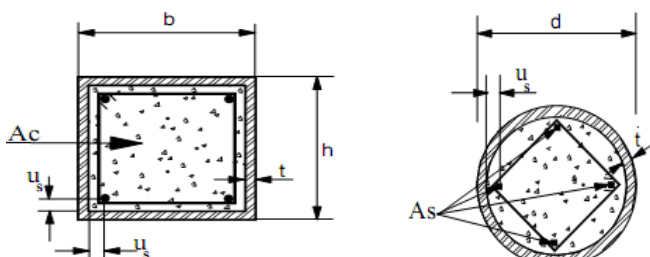


Figura 37: Seções transversais de pilares mistos preenchidos por concreto

Fonte: VARGAS; SILVA, 2003, p.37.

As formas desses perfis apresentam as mesmas condições que os perfis parcialmente envolvidos com concreto, relativos a acréscimos de área, tal qual, estrutura convencional em aço, onde o acabamento segue os mesmos padrões de revestimento (pintura).

C) Pilares protegidos com CCA

Os blocos são fabricados com materiais totalmente inorgânicos e incombustíveis de elevado ponto de fusão e baixo coeficiente de dilatação térmica, podendo ser utilizado em diversas aplicações que necessitam de proteção contra fogo. Seu ponto de fusão encontra-se na faixa de 1200°C . Apresentam uma porosidade descontínua, com ótimo desempenho na função de proteção térmica. Os resultados obtidos em testes laboratoriais apresentam resistências consideráveis, se comparadas ao tijolo comum e ao concreto.

As características do CCA, referente a sua condutividade térmica e características estruturais, possibilitam a utilização em proteção de perfis utilizados em elementos construtivos (pilares internos) em edificações (Figuras 38 e 39).

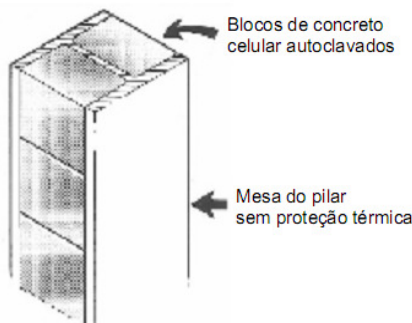


Figura 38: Pilar em perfil H protegido com blocos.

Fonte - BRITISH STEEL, 1998, apud VARGAS; SILVA, 2003, p.33.

A solução adotada na Figura 38, a proteção térmica do elemento estrutural (pilar) não apresenta acréscimo dimensional no perímetro resultante, contudo, apresenta boas condições de um acabamento conforme Figura 39. Nessa condição, onde a utilização de revestimento com blocos CCA entre as mesas do perfil, a função é restrita de proteção térmica, apresentando baixa resistência à compressão.



Figura 39: Pilar em perfil H protegido com blocos, acabamento final.

Fonte – PANNONI, 2009, p.44.

Pilares em fachada podem ser protegidos por blocos ou painéis de CCA, associados a outros materiais, apresentando as mesmas condições de acabamentos que os pilares internos, porém, com características específicas de cada projeto de edificação, (conforme Figura 40).

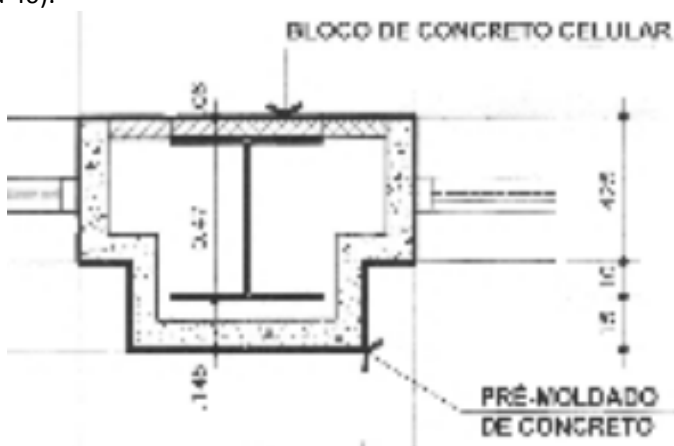


Figura 40: Pilar parcialmente protegido blocos de concreto celular.

Fonte: VARGAS; SILVA, 2003, p.65.

D) Pilares protegidos por pré-moldados de concreto

Soluções construtivas em pré-moldados leves de concreto oferecem uma solução esteticamente adequada a um grande número de situações e a um custo relativamente pequeno (Figuras 41 e 42).

A resistência ao fogo deste tipo de componente é de, no mínimo, 60 minutos e pode proteger elementos internos e externos à edificação. A interação com o projeto de edificação apresenta acréscimo dimensional, porém, se comparados com os blocos de concreto, não se torna tão significativa. O acabamento que esse tipo de material propicia, possibilita uma variedade de revestimentos, normalmente utilizados em acabamento, em obras de edificações.



Figura 41: Pilares de aço protegidos com pré-moldados de concreto.

Fonte: SEITO *et al.* 2008, p.155.



Figura 42: Detalhe do componente confeccionado em pré-moldado leve.

Fonte: SEITO *et al.* 2008, p.155.

E) Pilares protegidos por paredes GARF

A utilização de placas de GARF, aplicadas em componentes internos, tipo caixa, possui características específicas para proteção contra o fogo, o que as torna diferente de placas *dry-wall*, utilizadas para vedação (Figura 43).

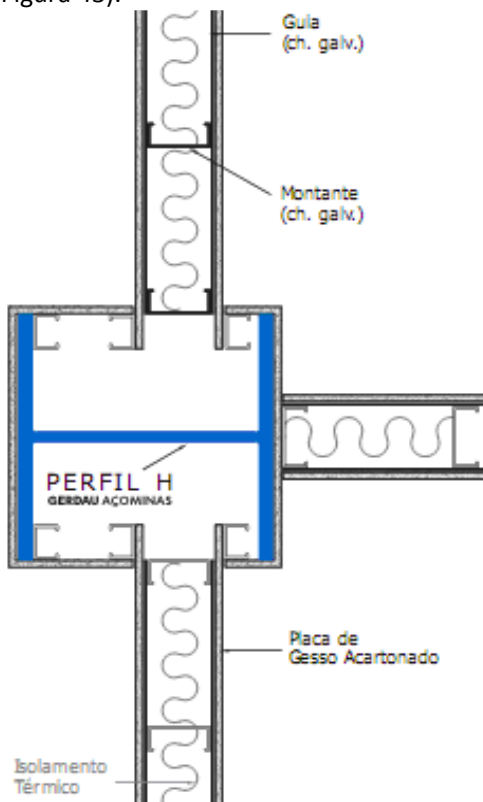


Figura 43: Pilar interno inclausurado às paredes de GARF

Fonte: COELHO, 2007, p.24.

Pilares isolados protegidos por GARF, utilizados em ambientes interno, necessitam de atenção especial, principalmente quando posicionados em locais onde possam ocorrer impactos ou presença de umidade. Esses materiais não são indicados para garagens ou em locais de movimentações de cargas. Quanto ao projeto de edificações, a interferência é a menor possível. Os aspectos relativos aos acréscimos dimensionais, em planta, são pequenos (Figuras 44a e 44b). Tudo

dependerá das adaptações, de acordo com a necessidade; entretanto, o acabamento segue os padrões normais, alvenaria, concreto, aço, entre outros.

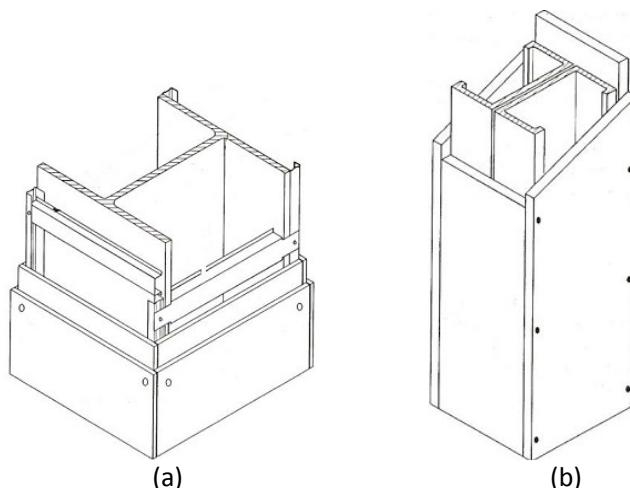


Figura 44: Pilar interno, (a) enclausuramento com suporte, (b) enclausuramento sem suporte

Fonte: GERKEN, 2007, p.107.

F) Pilares protegidos por placas, painéis e mantas de fibras minerais

f1) Placas de lã de rocha

Os painéis de lã de rocha podem ser utilizados em proteção de pilares de aço, porém, não apresentam um bom acabamento e não oferecem resistência a impactos, sendo necessário utilizar revestimento adicional resistente e que apresente um bom acabamento, quando das exigências de especificações. Entretanto, a alternativa de instalar um material que apresente bom desempenho à resistência mecânica e possibilite um bom acabamento, vai resultar num acréscimo de área, além do que a proteção térmica no perfil de aço originalmente apresentava.

f2) Placas de vermiculita

São placas isolantes extremamente leves, prensadas, quimicamente ligadas à base de vermiculita expandida e ligantes inorgânicos, apresentando boa resistência mecânica. São recomendadas para uso em temperaturas de serviço contínuo de até 1000°C. Não contêm amianto e nenhum componente tóxico prejudicial à saúde. É um produto inodoro, imputrescível, não deteriorável e incombustível. A interferência no projeto de edificações apresenta características semelhantes ao sistema de GARF.

f3) Painéis de silicato de cálcio autoclavado

São placas rígidas de grande resistência a impactos e à abrasão. Os painéis são instalados de forma limpa, mesmo em edificações já em funcionamento, através de travamentos por parafusos ou grampos, sem a necessidade de soldagem na estrutura (Figura 45). Este material possui acabamento similar a placas GARF, podendo receber massas e pinturas de acabamento, posteriormente a sua aplicação.



Figura 45: Estruturas protegidas por painéis rígidos.

Fonte: REFRASOL, 2010.

f4) Mantas de fibras minerais

As mantas de lã de rocha e de fibra cerâmica são de baixadensidade e apresentam boa flexibilidade. Aplicadas de modo a envolver o perfil metálico, são fixadas com pinos de aço à estrutura. Não são indicadas para ambientes abertos, onde há possibilidade do intemperismo provocar a ocorrência de desprendimento das fibras,

pois, nem todas apresentam proteção superficial. Em ambientes onde há possibilidade de impactos ou exigências de acabamentos mais aprimorados, outros revestimentos para proteger o isolante térmico devem ser providenciados, porém, ocorrerá um acréscimo da área do pilar, adicionada à área da proteção térmica, semelhante ao resultado de acabamento das placas de lã de rocha.

G) Pilar protegido por argamassas projetadas

O nome argamassa projetada deve-se precisamente à forma de aplicação do material, que é aplicado por jateamento, diretamente na superfície do aço. É constituída geralmente de gesso ou vermiculita, cimento, resinas acrílicas e cargas inertes, tais como poliestireno expandido e celulose.

Argamassas projetadas são os materiais mais utilizados em todo o mundo para a proteção passiva contra fogo de estruturas metálicas, pois reúnem as maiores vantagens técnicas e os menores custos para todas as situações onde as estruturas não estejam aparentes, como vigamentos ocultos sobre forros ou pilares com acabamentos (gesso acartonado, concreto, entre outros) (conforme Figura 46).



Figura 46: Central dos Correios Santo Amaro - São Paulo, protegido com Argamassa projetada.

Fonte: REFRASOL, 2010.

A sua superfície rugosa da argamassa projetada não apresenta um bom acabamento, a não ser quando alizada, por isso, são mais

adequadas para ambientes menos exigentes. O acréscimo dimensional no elemento estrutural é insignificante, porém, se necessário, por aspectos relacionados à resistência a impactos, característicos de depósitos, galpões, estacionamento, usar concreto ou outro material compatível, conforme destaque na figura 46. No caso, de especificações de um acabamento mais aprimorado (aspecto visual), usar gesso acartonado ou placas de silicatos de cálcio autoclavados, que, interferirá com acréscimo de área, em torno do perfil estrutural protegido.

H) Pilar protegido por fibras projetadas

Apresenta as mesmas características das argamassas projetadas, referentes aos aspectos de acréscimos dimensionais e acabamento (conforme Figura 47).



Figura 47: Fibras projetadas.

Fonte: REFRASOL, 2010.

I) Pilar protegido por tintas intumescentes

A pintura intumescente é uma película fina que intumesce (aumenta de volume), quando sujeita à ação do calor, forma uma camada de proteção térmica no aço. É aplicada sobre a superfície de aço, convenientemente preparada: um primer compatível, seguindo a aplicação da tinta intumescente e acabamento na cor discriminada. É aplicada como no sistema convencional de pintura, por spray, pistola

de ar comprimido, pincel ou rolo, e é adequada para ambientes internos e externos, destacando-se a facilidade de aplicação, limpeza e aspecto harmonioso (Figura 48); porém, possui uma aplicação lenta e de preço elevado, se comparado aos demais sistemas.

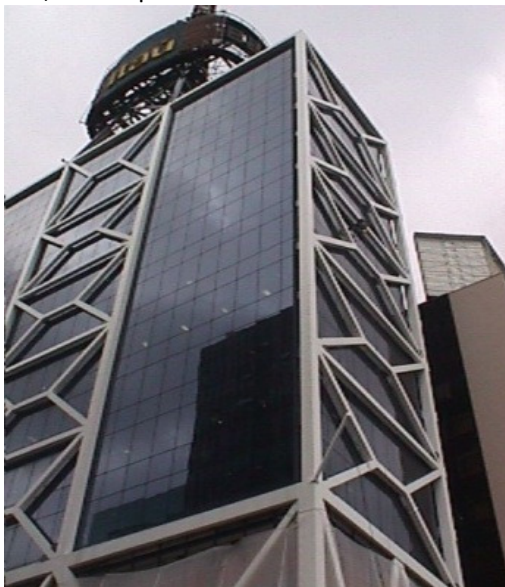


Figura 48: Edifício Itaú Cultural na Avenida Paulista, protegido com tinta intumescente.

Fonte: REFRASOL, 2010.

Segundo Refrasol (2010), as tintas intumescentes são os produtos de melhor acabamento visual para a proteção de estruturas metálicas, todavia são materiais caros, que devem ser utilizados com cautela para se garantir a viabilidade econômica de qualquer empreendimento.

Não interferem no projeto de edificações, com os acréscimos de área dos componentes metálicos e apresentam um bom acabamento.

5.2.2 Vigas

Vigas são elementos estruturais responsáveis principalmente por sustentar as cargas provenientes das lajes e paredes e transmiti-las aos pilares. Em estruturas metálicas, o perfil mais utilizado é o tipo I, que apresenta boa resistência aos esforços de tração e compressão (Figura 49), causados pela flexão; porém, outros esforços de torção e cisalhamento podem ocorrer.

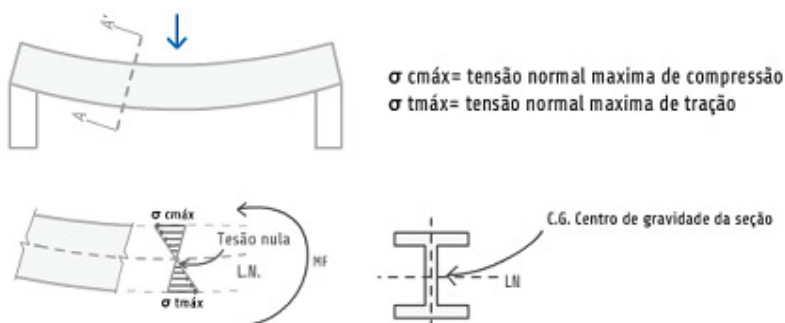


Figura 49: Esforços de compressão e tração em viga de perfil I

Fonte: REBELLO, 2009, p.44.

Quanto à forma de aplicação de proteção térmica em vigas, pode apresentar características inerentes ao ambiente e ao requinte estético (conforme Figura 50).

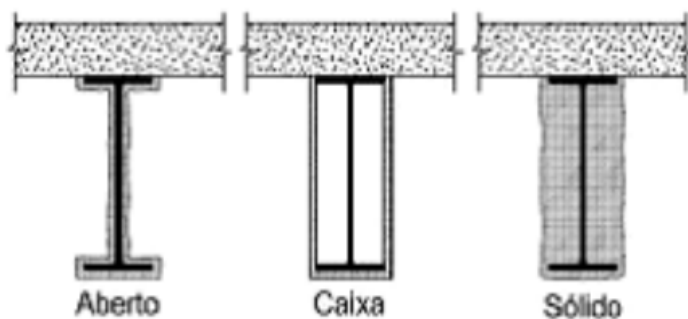


Figura 50: Forma de aplicação da proteção térmica em vigas.

Fonte: PANNONI, 2009, p.26.

A) Proteção de viga com concreto

As vigas de aço com proteção térmica, que utilizam o concreto como barreira antitérmica (proteção térmica) e absorção de esforços, são pouco usadas, se comparadas aos demais sistemas. As etapas executivas são mais vagarosas (Figura 51) e necessitam de um tempo maior para dar acabamento quando necessário, principalmente se ficar aparente e seguir com revestimento convencional de tintas, pouco interferindo no projeto de edificações.

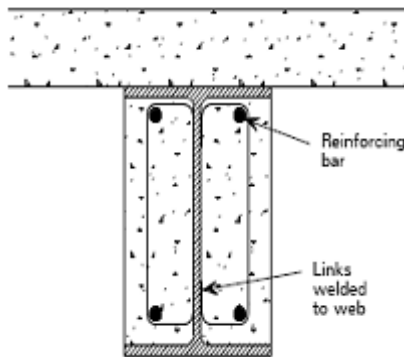


Figura 51: Viga com proteção térmica de concreto.

Fonte: PANNONI, 2009, p.41.

B) Proteção de viga com placas e painéis de fibras minerais

b1) Placas de GARF

A utilização de placas de GARF, segue as mesmas características quando aplicadas em pilares. Esse tipo de revestimento consiste numa proteção tipo caixa e exige cuidados especiais nas uniões entre as placas ao elemento a revestir, para impedir a passagem de gases quentes pelas juntas, principalmente por ser um elemento que está localizado na parte superior do ambiente. Sua execução exige pinos de fixação nas superfícies, (Figura 52) e as placas que compõem o sistema apresentam espessuras de 12,5, 15, 20, 25 e 30 mm.



Figura 52: Viga / pilar protegido com placa de GARF.

Fonte: KNAUF DO BRASIL, 2010.

b2) Placas de lã de rocha

São painéis feitos com materiais fibrosos de lã de rocha, em geral aglomerados por pulverização de resina termo-endurecíveis.

São boas alternativas para a proteção de estruturas de edificações já em funcionamento, uma vez que estes sistemas geram menos sujeira que materiais projetados (Figura 53). Esses sistemas são fixados em pinos previamente soldados à estrutura e possuem acabamento rústico, devendo ficar ocultos sobre forros ou envolvidos por materiais específicos de acabamento, aumentando o perímetro do elemento a ser protegido, com atenção especial ao pé direito, que, em ambiente de altura limitada e previsão de forro falso pode ficar comprometido.



Figura 53: Placas de lã de rocha

Fonte: PANNONI, 2009, p.33.

Este tipo de proteção não necessita de preparo da superfície da estrutura de aço e, no entanto, sua fixação é lenta, principalmente ao redor de detalhes complexos e pode ter o custo elevado.

b3) Placas de vermiculita e painéis de silicato autoclavado

Esses dois sistemas apresentam características semelhantes ao GARF, e as considerações relativas a resistências e acabamento seguem as mesmas das proteções em pilares de aço.

C) Proteção de viga com mantas de fibras minerais

c1) Mantas de lã de rocha

A lã de rocha é obtida da fusão da rocha de origem basáltica, é fornecida na densidade de 144 kg/m^3 , para proteção tipo de caixa (Figura 54), e densidade de 96 kg/m^3 , na proteção do tipo contorno dos perfis metálicos (Figura 55). Seu ponto de fusão está acima de 1200°C .



Figura 54: Mantas de lã de rocha – Tipo caixa - Centro de Treinamento do Banco do Brasil - DF

Fonte: REFRASOL, 2010.

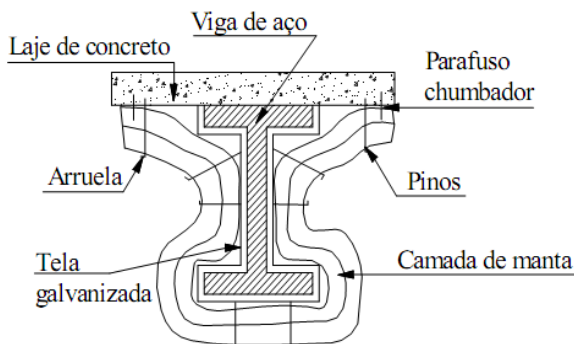


Figura 55: Fixação de lâ de rocha – Tipo contorno

Fonte: MARTINS, 2000, p.33.

c2) manta de fibra cerâmica

A manta de fibra cerâmica é um produto obtido da eletrofusão de sílica e alumina. As fibras que a compõe são multidirecionais e entrelaçadas por um processo contínuo de agulhamento, conferindo às mantas boa resistência ao manuseio e à erosão. Seu ponto de fusão ocorre a aproximadamente 1760°C , sendo a temperatura de uso limite de 1260°C . São fornecidas em rolos com 7620 mm de comprimento, 610 mm de largura, espessuras de 13 a 51 mm, nas massas específicas de 96 e 128 kg/m^3 . Podem ser utilizadas tanto na proteção tipo caixa quanto no tipo contorno.

Segundo Martins (2000), na proteção tipo contorno do perfil, o material pode ser fixado por meio de pinos de aço carbono galvanizado soldado às peças metálicas e às arruelas ou por cintas metálicas. Os pinos são soldados automaticamente por máquinas especiais pelo processo de arco voltaico, por eletrofusão. O espaçamento entre pinos, tanto na direção horizontal quanto na vertical, deve estar em torno de 300 mm, (Figura 56).



Figura 56: Mantas de fibra cerâmica.

Fonte: VARGAS; SILVA, 2003, p.45.

A proteção tipo caixa é mais econômica, pois leva a fatores de massividade mais baixos e menores áreas a revestir, porém suas vantagens se perdem em perfis com altura de alma maior que 150 mm. Nesse caso, faz-se necessário o emprego de uma tela como base para apoio das mantas. As telas deverão ser fixadas aos pinos de ancoragem por meio de arruelas de pressão perfuradas, de aço galvanizado. Por não resistir à umidade e à abrasão, as mantas cerâmicas devem ser empregadas em locais abrigados e protegidas por algum tipo de acabamento superficial.

Esse sistema pode ficar aparente quando usado em ambiente menos exigente, entretanto, se for discriminado um acabamento final refinado, será necessário encobrir a proteção térmica das vigas. O forro falso pode ser uma boa solução, contudo, o pé direito pode sofrer redução.

D) Argamassas projetadas e fibras projetadas

Esses sistemas apresentam as mesmas características das aplicações em pilares, porém, as interferências no projeto de edificações seguem as mesmas das fibras minerais. Nas argamassas projetadas, quando o acabamento for alisado (conforme Figura 57b) e receber pinturas, possibilitará um bom acabamento, sem a necessidade de colocação de forro falso.

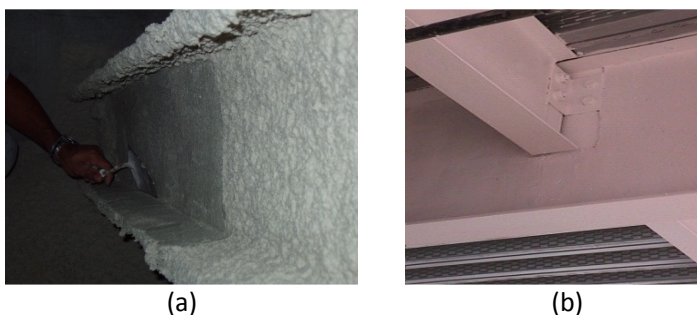


Figura 57: Argamassa projetada, alisada (a) e pintada (b) - Itambé Adm. Condomínios - SP

Fonte: REFRASOL, 2010.

E) Tintas intumescentes

São utilizadas principalmente em estruturas aparentes, onde o requisito é um acabamento de elevado requinte estético (Figura 58). A aplicação de tinta intumescente em vigas segue as especificações em pilares, não acrescentando aspectos dimensionais no elemento estrutural, e nem influenciando no acabamento, possibilitando ao arquiteto, discriminações de uma gama de cores que o sistema convencional de pintura apresenta e permitindo uma proteção adicional à pintura intumescente.

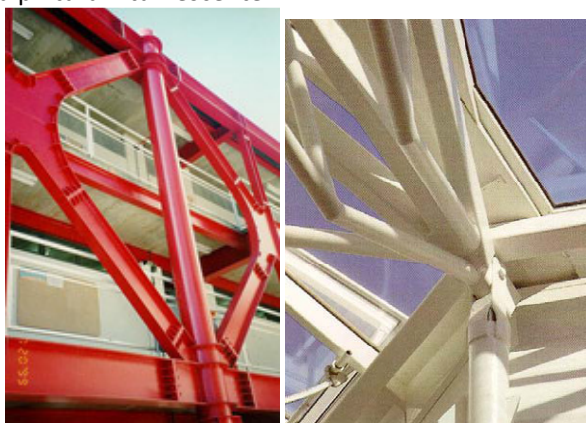


Figura 58: Pintura intumescente

Fonte: TERMOCOM, 2010.

5.2.3 Lajes

O componente estrutural laje caracteriza-se pela supremacia de duas dimensões (comprimento e largura), sobre uma terceira (espessura). As cargas que geralmente atuam na superfície são as distribuídas. São exemplos de cargas superficiais o peso próprio de uma laje, peso próprio de revestimentos de pisos, peso das pessoas, mobiliários, entre outras.

Por apresentarem uma grande superfície exposta às chamas e às altas temperaturas, posicionada na situação mais severa das condições de incêndio, a estanqueidade é de fundamental importância para evitar a passagem de gases quentes e fumaça para o pavimento que fica acima.

A) Laje mista (aço/concreto)

Vargas e Silva (2003) comentam sobre a importância da forma de aço (*steel deck*), em possibilitar vedação, impedindo a ocorrência, em incêndio, de rachaduras ou outras aberturas, através das quais podem passar chamas e gases quentes capazes de ignizar um chumaço de algodão.

Lajes de concreto com forma de aço incorporada (*steel deck*), sem material de proteção térmica em situação de incêndio, calculadas a temperatura ambiente, seguindo os princípios normativos (projeto de revisão da NBR 14323/2003), devem apresentar uma resistência ao fogo de, no mínimo, 30 minutos, desde que sejam verificados os critérios de isolamento térmico, adotando a espessura efetiva mínima de concreto (h_{ef}), variando de 60 a 120 mm, de acordo com o TRRF solicitado (conforme Tabela 21).

Tabela 21: Espessura efetiva mínima do concreto

Tempo requerido de resistência ao fogo (minutos)	Espessura efetiva mínima h_{ef} (mm)
30	60
60	80
90	100
120	120

Fonte: ABNT, 2003, p.68.

Conforme a Figura 59, a espessura de concreto (h_{ef}) influenciará numa altura diferenciada, conforme TRRF solicitado, o que resultará em elevação do pé direito do pavimento.

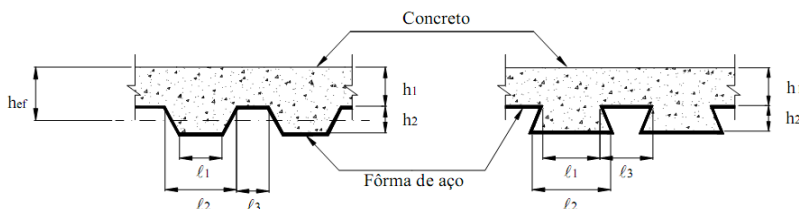


Figura 59: Dimensão da seção transversal da laje

Fonte: ABNT, 2003, p. 69.

As lajes de concreto com forma de aço incorporada, sem proteção térmica (Figura 60) além da condição de estanqueidade, podem ser mais baratas se comparadas com o custo da proteção térmica com materiais projetados, caso a espessura de concreto especificada no projeto estrutural, calculado à temperatura ambiente, apresentar compatibilidade com as exigências da NBR 14432/2003 (h_{ef}).



Figura 60: Laje de concreto com forma de aço incorporada (steel deck)

Fonte: PANNONI, 2004, p.29.

Segundo a NBR 14432/2003, pode-se aumentar a resistência em situação de incêndio de lajes mistas usando-se os seguintes meios de proteção:

- pulverização de material de proteção térmica na face inferior da fôrma de aço;
- colocação de forros suspensos que proporcionem proteção térmica (neste caso, deve-se comprovar, por meio de ensaios ou por métodos construtivos recomendados por normas ou especificações estrangeiras, que os mesmos mantenham-se íntegros durante a ocorrência do incêndio). (ABNT, 2003, p.76).

As lajes mistas que não apresentarem espessuras de concreto (h_{ef}) suficientes para atender aos critérios de isolamento térmico em situação de incêndio, devem utilizar proteção térmica. Os materiais projetados (Figura 61) podem ser uma boa solução, porém, não apresentam um bom acabamento; entretanto, em ambientes requintados, a utilização de elementos complementares (forro falso), pode ser uma boa solução.



Figura 61: Argamassa projetada - proteção térmica em laje de concreto com forma de aço incorporada (*stee deck*)

Fonte: PANNONI, 2004, p. 28.

B) Laje maciça de concreto

A NBR 15200/2004 descreve como objetivos a ser alcançados nas estruturas de concreto, se forem satisfeitas, as seguintes condições:

1. função corta-fogo – a estrutura não permite que o fogo a ultrapasse ou que o calor a atravesse em quantidade suficiente para gerar combustão no lado oposto ao incêndio inicial. A função corta-fogo compreende o isolamento térmico e a estanqueidade à passagem de chamas;

2. função de suporte – a estrutura mantém sua capacidade de suporte da construção como um todo ou de cada uma de suas partes, evitando o colapso global ou o colapso local progressivo.

A mesma norma comenta: “como com o aquecimento, a rigidez das peças diminui muito e a capacidade de adaptação plástica cresce proporcionalmente; os esforços gerados pelo aquecimento podem, em geral, ser desprezados” (ABNT, 2004, p.11).

As estruturas de concreto devem apresentar espessuras mínimas, que são normalmente a espessura das lajes, a largura das vigas, as dimensões transversais de pilares, entre outras. Para satisfazer as exigências de resistência a chamas e altas temperaturas em situação de incêndio, a Tabela 22, apresenta espessuras mínimas das lajes apoiadas em vigas (h^*).

Tabela 22: Dimensões mínimas para as lajes apoiadas em vigas (h^* - espessuras)

TRRF min	h^* mm	c_1 mm		
		Armada em duas direções		Armada numa direção
		$\ell_y / \ell_x \leq 1,5$	$1,5 < \ell_y / \ell_x \leq 2$	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40

* Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.

Fonte: ABNT, 2004, p.13.

Igualmente, a mesma norma apresenta outras Tabelas (ANEXO V), estabelecendo espessuras mínimas para as lajes lisas ou cogumelo,

nervuradas ou biapoiadas, considerando as várias possibilidades de vínculos.

Apresentando a laje de concreto, espessura mínima para resistir aos efeitos de um incêndio, estabelecida pela NBR 15200/2004, também, as condições de isolamento térmico e estanqueidade ficam resolvidas, assim, as interações com o projeto de edificações não apresentam resultados diferentes das estruturas convencionais, ou seja, as que não são calculadas para resistir às chamas e altas temperaturas.

C) Laje pré-moldada alveolar e treliçada.

Para ser consideradas resistentes às chamas e altas temperaturas, esse tipo de laje deve apresentar espessuras compatíveis com o TRRF e as recomendações da distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo (c_1)²⁴, determinadas pela NBR 15200/2004 – Projeto de estrutura de concreto em situação de incêndio. Portanto, as interações com o projeto de edificações, seguem as mesmas da laje maciça de concreto.

²⁴ C_1 = distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo.

CAPÍTULO 6: ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Análise

6.1.1 Proteção térmica

O presente trabalho teve como meta analisar o grau de influência dos sistemas de proteções térmicas em projetos de edificações, com estruturas metálicas em aço.

Após a verificação de carência de informações sobre a SCI, principalmente ao se tratar da proteção térmica em elementos estruturais em situação de incêndio, nas grades curriculares dos cursos de arquitetura e urbanismo do Estado de Santa Catarina, o referencial teórico foi elaborado em função dessa necessidade.

Verificou-se, com a elaboração do referencial teórico, a importância de se obter informações sobre as propriedades físicas e químicas do fogo, da tecnologia do incêndio, assim como os efeitos causados pela fumaça.

O referencial teórico colaborou, entre outros fatores, elucidando as informações relativas às estruturas de aço, em projetos de edificações e da necessidade de protegê-las, quando sujeitas às altas temperaturas em situação de incêndios. O aço, assim como outros materiais estruturais, quando submetido a altas temperaturas, sofre redução de sua resistência e da sua rigidez. A proteção térmica destaca-se como um elemento fundamental, tendo como finalidade evitar que estruturas de aço atinjam a temperatura crítica, em caso de incêndio. Pôde-se compreender a importância dessa proteção térmica e de como ela é imprescindível, nas estruturas em aço, tornando-as seguras, resistindo aos esforços solicitantes, de forma a evitar o colapso estrutural, possibilitando a evacuação da edificação e liberando as ações de combate ao incêndio.

Dentro desse contexto, mostrou-se como são diversificados os materiais de proteção térmica e suas propriedades. A necessidade de cumprir determinações normativas ao tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), conforme ocupação, área da construção, altura, entre outras, faz com que se torne necessário a discriminação de material, em geral, que apresente baixa massa específica aparente, acabamento requintado, baixa condutibilidade térmica, adequada resistência mecânica e garantia da integridade durante a evolução de incêndio,

características importantes em um material de proteção térmica. Porém, nem sempre um material de proteção térmica mostra-se apto a preencher essas condições ideais; a associação entre os mesmos pode levar a resultado satisfatório que contemple necessidade idealizada, contudo, o profissional que projeta edificações, deve possuir conhecimento suficiente para propor essas soluções associativas.

Além da proteção térmica em elementos estruturais de aço, outros sistemas podem estar associados, por exemplo: preventivo por extintores, parede corta-fogo, ancoragem de cabos, iluminação de emergência, alarme e detecção, entre outros.

Nesses sistemas, a interação com o projeto de edificações acontece de forma indireta, ou seja, não há grandes ingerências, de modo a alterar a organização espacial projetada.

Todavia, nos sistemas hidráulicos preventivos, sob comando, automático, instalações de gás combustível, proteção térmica e principalmente saídas de emergência, devem ser tratados convenientemente já no estudo preliminar, pois a interação no projeto de edificações ocorre de forma direta, necessitando organização espacial específica para os diversos sistemas.

6.2 Discussão dos resultados

6.2.1 Proteção térmica

A partir das pesquisas realizadas, constatou-se, de uma forma geral, que quanto maior e melhor a aparência e a resistência mecânica do material de proteção, maior o seu custo; contudo, os materiais mais rústicos e de resistência mecânica inferior são os mais baratos. Assim sendo, os principais materiais utilizados, por ordem crescente de custo são: materiais projetados, mantas de fibra cerâmica e mantas de lã de rocha, placas rígidas, concreto vermiculítico, tintas intumescentes. Contudo, para a escolha correta do material de proteção térmica, deve-se levar em consideração diversos aspectos, além de uma simples comparação de custos. Verificaram-se os mais relevantes:

- a) aparência, em função da necessidade;
- b) resistência mecânica (principalmente em garagens, áreas de produção industrial);

- c) resistência ao intemperismo (principalmente para elementos externos ou expostos);
- d) requisitos dimensionais (interferências, espaços possíveis para ocupação, entre outros);
- e) período da obra (limpeza necessária, viabilidade de soldagem de ancoragem, entre outras);
- f) velocidade de aplicação;
- g) capacitação técnica da empresa escolhida e dos funcionários.

Assim, constatou-se que vários materiais podem ser utilizados como proteção térmica e diversos fatores podem interferir diretamente na escolha do material.

Observou-se, também, que podem ser utilizadas diversas formas de proteção de estruturas metálicas em edificações, tais como, recobrimento com alvenarias, concreto ou blocos de concreto celular e estruturas revestidas com material apropriado. Nos elementos estruturais integrados, as alvenarias de blocos de concreto ou cerâmico, além das condições de fechamento, desempenham papel relevante, total ou parcial de isolamento térmico. Todavia, as estruturas mistas (aço/concreto), lajes e, principalmente, vigas e pilares, podem ser total ou parcialmente envolvidas por concreto, e os pilares tubulares, preenchidos por concreto. O material de proteção térmica (concreto) também pode agir de forma a favorecer a absorção dos esforços solicitantes (principalmente de compressão), auxiliando o conjunto estrutural.

6.2.2 Educação e segurança contra incêndios (SCI)

A SCI, por ser considerada uma nova área da ciência, do ensino e da pesquisa na ciência do fogo, deve ser introduzida nas grades curriculares, principalmente na maioria dos cursos de arquitetura e engenharias das universidades brasileiras. Por ser a educação considerada a principal chave para a segurança contra incêndios, a formação de profissionais responsáveis pelas elaborações dos projetos que integram uma edificação, deve ser baseada em princípios que garantam a qualidade da construção, e que devem ser contempladas, inclusive, nos projetos complementares. Dentre eles, o projeto de segurança contra incêndios, destaca-se por ser responsável pela segurança dos elementos estruturais em aço protegidos por barreira antitérmica, facilidade de fuga dos usuários salvaguardando vidas,

proteção patrimonial, possibilidade de aproximação e ingresso na edificação para o desenvolvimento das ações de combate do Corpo de Bombeiros, entre outras.

Na verificação dos currículos dos cursos de arquitetura em treze instituições de ensino no Estado de Santa Catarina, a partir de pesquisa realizada no site do Ministério de Educação e Cultura (MEC²⁵), constatou-se que as grades curriculares não apresentam disciplina de SCI. Entretanto, desses cursos de arquitetura, sete apresentaram seus ementários informações referentes ao assunto de forma genérica, sendo que os demais não disponibilizaram seus ementários no site. A forma de como é abordado o assunto de SCI em seus ementários, aparece, muitas vezes, de maneira fracionada, não expondo os conteúdos a contemplar, pelo menos, a Norma de Segurança Contra Incêndios do Estado de Santa Catarina (NSCI).

A frequência com que o tema é tratado nas grades curriculares dos cursos de arquitetura se dá principalmente nas 5^{as} fases, porém, também aparecem em 4^a e 7^a fases, todavia, esses conteúdos ocorrem nas disciplinas de Instalações Prediais, Instalações e Equipamentos, Instalações Hidráulicas, Instalações Prediais e Urbanas, Instalações Hidrossanitárias, Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo II: Instalações Hidráulicas, e Instalações Prediais Hidráulico-sanitárias e de Gás.

Verificou-se uma desigualdade de cargas horárias das disciplinas, com variações de 40, 45, 60 e 72 h/a, dependendo do número de créditos, assim como, de outros conteúdos inclusos, a serem ministrados no decorrer da fase.

As disciplinas que tratam os tópicos de SCI, apresentam-se de vários modos:

- a) Instalações para Prevenção contra Incêndios;
- b) Combate a Incêndios;
- c) Instalações de Gás;
- d) Sistemas de Prevenção e Combate a Incêndios;
- e) Sistemas Preventivos de Incêndios;
- f) Instalações Prediais de Combate a Incêndios/Instalações Prediais de Gás Combustível.

Constatou-se que nas disciplinas, de forma geral, há uma grande quantidade de conteúdos, que tratam de aspectos dimensionais,

²⁵ <http://emec.mec.gov.br> – APÊDICE C

projetos, atividades em laboratórios, exercícios, entre outras, além da abordagem de SCI, que também são importantes para a formação do arquiteto, conforme apresentado nos APÊNDICES C.

Entretanto, ao se tratar especificamente de SCI, explorando as mais diversas formas de abordagem que o assunto merece, direcionadas para a formação peculiar de determinado profissional, arquiteto ou engenheiro, o enfoque poderá sofrer viés; mas, há vários sistemas que interagem com o projeto de edificações de forma direta ou indireta.

Portanto, ao tratar-se de SCI, mesmo que de uma forma reduzida, porém necessária para fazer frente às necessidades a serem contempladas no projeto de edificações, torna-se essencial uma carga horária mais ampla, nos cursos de arquitetura e urbanismo, tratando os conteúdos indispensáveis, que possibilitem aos estudantes compreender e participar dos projetos de segurança contra incêndios que atendam às normas técnicas. A técnica é tão importante como a arte nos projetos de edificações. O arquiteto espanhol, Santiago Calatrava, em entrevista à Revista Veja (Arquitetura, 2010, n. 2170, p.137) resume sua arquitetura: “Para mim, é justamente o rigor da engenharia que alça a arquitetura a um patamar mais elevado”.

Cabe destacar que a pesquisa dos tipos de proteções térmicas e suas interações com o projeto de edificações, assim como a proposição de uma maior carga horária para contemplar conteúdos de SCI nos cursos de arquitetura do Estado de Santa Catarina – SC, constituem-se de uma pequena contribuição para o enriquecimento do conhecimento de SCI; portanto, ainda há muito a ser explorado nesta área.

CAPÍTULO 7: Conclusões e Recomendações

7.1 Conclusões

No desenvolvimento deste trabalho foram abordados os vários tipos de proteções térmicas em elementos estruturais em aço e suas interações com o projeto de edificações, assim como, uma rápida pesquisa na internet objetivando a verificação de inclusões de conteúdos de segurança contra incêndios (SCI), nas grades curriculares dos cursos de arquitetura e urbanismo no Estado de Santa Catarina.

Todas as referências consultadas contribuíram, entre outros fatores, elucidando a importância da proteção térmica nos projetos de edificações. Pôde-se assimilar com clareza, a relevância de se proteger elementos estruturais quando expostos ao fogo e às altas temperaturas em situação de incêndio. Dentro desse contexto, mostrou-se como variam as propriedades mecânicas e térmicas do aço com a elevação da temperatura e os conceitos fundamentais relacionados a ações e segurança.

A partir da pesquisa, verificou-se a necessidade de compreender o risco de incêndio a que uma edificação poderá estar exposta, quando a estrutura de aço não for protegida por barreira antitérmica, que deverá ser idealizada para atender às exigências das normas técnicas, a fim de evitar o colapso estrutural.

Constatou-se, também, que os diversos sistemas incorporados à edificação através de proteção passiva, interagem no projeto de arquitetura, principalmente quando a opção for estrutura metálica em aço, que, por solicitação normativa, deve ser previsto proteção térmica para a proteção dos elementos estruturais.

Os estudos demonstraram que vários são os materiais utilizados como proteção térmica nos elementos estruturais (lajes, vigas e pilares), com características peculiares, atendendo aos requisitos do TRRF, acabamento, resistência a impactos e ao intemperismo, entre outros.

Outra constatação do presente trabalho foi a verificação de que a escolha da proteção térmica, além do custo, facilidade de aplicação e da forma como é protegido o elemento estrutural em aço, reflete no projeto de edificações em soluções que podem levar acréscimos dimensionais em área e altura.

Demonstrou-se, também, que a NBR 14432:2001 apresenta (Tabela A.1 - TRRF) dados relativos ao grupo, ocupação/uso e alturas, e que o Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (CB-PMESP), acrescentou novos dados em sua Tabela A, além da norma.

A partir da pesquisa, pôde-se constatar que o Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina, em Normas de Segurança Contra Incêndios – NSCI (1992), não apresenta informações relativas às proteções térmicas em elementos estruturais em aço, porém, a Instrução Normativa nº 019/DAT/CBMSC, (2006), em Sistemas de Proteção Passiva – Resistência ao fogo dos elementos estruturais, encontra-se em elaboração.

Verificou-se, ainda, a importância SCI nos projetos de edificações, que deve ser solucionada na fase dos estudos preliminares evoluindo para o anteprojeto, em que o arquiteto normalmente deve considerar as exigências de proteção passiva e as interfaces com os dispositivos de proteção ativa. Importante destacar-se que é nessa fase, da definição das soluções de compatibilidade entre estruturas e demais elementos construtivos que se define o custo da segurança estrutural em situação de incêndio, e que, a conciliação da técnica e da arte pode levar a uma arquitetura agradável e segura.

Outro resultado a que se chegou foi a verificação de que grades curriculares dos cursos de arquitetura e urbanismo do Estado de Santa Catarina não apresentam disciplina de SCI, porém, disponibilizam informações inclusas em outras disciplinas, que apresentam conteúdos diversificados, acontecendo em diversas fases, dependendo da Instituição de Ensino.

Assim, torna-se muito difícil uma abordagem mínima necessária de SCI, obtida pela integração dos sistemas de proteção ativa e passiva, que possam propiciar aos formandos, conhecimento e experiência para a elaboração de projetos de edificações, que devam ser desenvolvidos dentro dos padrões normativos, em que sejam contemplados o conforto, aspecto visual, o funcionamento e a segurança estrutural, entre outros.

Dessa forma, constatou-se a importância do conhecimento dos conceitos básicos e dos parâmetros para avaliação da SCI, que deve ser instrumentos com os quais o estudante possa contar nos momentos de aprendizado nas disciplinas de projeto de edificações. Apoiar-se com base nesses conhecimentos, de forma a agir nas decisões projetuais, é

essencial, assim como é importante entender os mecanismos e propagação do fogo, fumaça e gases quentes no interior das edificações; todavia, torna-se necessário assimilar como um projeto de edificações, pode ser um agente relevante ou não, na evolução dos fenômenos causados por um incêndio.

Mostrou-se, finalmente, que o arquiteto é o profissional responsável pelo projeto de arquitetura e pelo gerenciamento dos projetos complementares, por isso, é importante o conhecimento dos sistemas de proteção térmica, e quais os materiais que a compõem, a fim de evitar intervenções inadequadas, que não revelem o que foi idealizado. Entretanto, se esse conhecimento não foi repassado na sua vivência acadêmica, maior será a dificuldade de se elaborar um projeto de edificações que possa minimizar essas intervenções.

7.2 Recomendações para desenvolvimentos de trabalhos futuros.

Considerando-se que há, ainda, um campo muito amplo sobre as questões referentes à SCI, enfoque na proteção térmica de estruturas metálicas expostas a chamas e altas temperaturas, assim como a carga horária destinada aos conteúdos referentes à SCI, pode-se sugerir:

- 1) A realização de novos estudos sobre a performance dos materiais de proteção térmica para outros elementos estruturais.
- 2) A realização de estudos mais aprofundados sobre a utilização de madeira como material de proteção térmica, considerando o seu potencial como isolante.
- 3) A investigação do custo e do impacto financeiro dos diversos sistemas de proteções térmicas incidentes no projeto de edificações.
- 4) A investigação do nível de abordagem de SCI que é praticado nos cursos de Arquitetura.

REFERÊNCIAS

ADDIS, Bill. **Edificação: 3000 anos de projeto, engenharia e construção**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 640 p. Tradução Alexandre Salvaterra.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio**. NBR 13860. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 10p.

_____. **Projeto de estrutura de madeira**. NBR 7190. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p.

_____. **Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – Procedimentos**. NBR 14323. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 46p

_____. **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimentos**. NBR 14432. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 14p.

_____. **Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo**. NBR 5628. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 6p.

_____. **Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – Procedimentos**. Projeto de revisão, NBR 14323. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 89p.

_____. **Projeto de estrutura de concreto em situação de incêndio**. NBR 15200. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 17p.

BRETANO, Telmo. **Instalações hidráulicas de combate a incêndios nas edificações**. 2. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2005. 450 p.

CARVALHO, Mônica Junqueira de. **Arquitetura brasileira: um triste cenário**. Entrevista a AECweb, janeiro, 2010. São Paulo.

COELHO, Roberto de Araújo. **Coletânea do uso do aço**: interface entre perfis estruturais laminados e sistemas complementares. 4. ed. Belo Horizonte: Perfis Açominas, 2007. 63 p.

COSTA, Carla Neves; SILVA, V. P. Considerações sobre a segurança das estruturas de concreto em situação de incêndio. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU'2004 TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO, 2004, São Paulo. NUTAU 2004. São Paulo: Núcleo de Urbanismo e Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, 2004.

EUROCODE 5 (2002): Design of timber structures. Part 1-2: General rules-Structural fire design. European Committee for standardization, Brussels.

FIGUEROA, Manuel Jesús Manríquez. **Influência da temperatura sobre a resistência mecânica do paricá**. Florianópolis, 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

GOMES, Ary Gonçalves. **Sistemas de prevenção contra incêndios**: sistema hidráulico, sistema sob comando, rede de hidrantes e sistema automático. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 220 p.

GERKEN, André Luiz Dos Reis. **Materiais de proteção térmica para sistemas construtivos de baixo custo estruturados em aço**. 2007. 211 f. dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia, Departamento de Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Cap. 8.

GOMIDE, Kleber aparecido; MORENO JUNIOR, Armando Lopes. Colunas de Pequenos Diâmetro mistas de Aço Preenchida com Concreto, em situação de Incêndio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51^o, 2009, Curitiba. **Anais do 51^o congresso brasileiro do concreto CBC2009**. São Paulo: Ibracon, 2009. v. 1, p. 1 - 14.

JACINTO, *et al.* Análise numérico-experimental de pilares mistos de aço e concreto em situação de incêndio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO

CONCRETO, 51^o, 2009, Curitiba. **Anais do 51^o. Congresso Brasileiro do Concreto CBC2009**. São Paulo: Ibracon, 2009. v. 1, p. 1 - 17.

LEVY, Salomon Mony; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção**. São Paulo, EPUSC – BT/PCC/318, 2002. 12p.

LIMA R.C.A, *et al.* **Seminário de patologias das edificações, 2** - Efeitos de altas temperatura no concreto: novos materiais e tecnologias emergentes. Porto Alegre: Leme-UFRGS, 2004. 15 p.

MARTINS, Michele Mendonça. **Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio**. 2000. 214 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Curso de Programa De Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

MENDES, Cristiane Lopes. **Estudo teórico sobre perfis formatados a frio em situação de incêndio**. 2004. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Usp, São Carlos, 2004.

MENDES, Cristiane Lopes; MUNAIAR NETO, J.; MALITE, Maximiliano. Revestimentos térmicos em perfis e aço formados a frio no contexto do projeto estrutural em situação de incêndio. **Revista Minerva**, São Carlos - SP, v. 3, n. 1, p. 69-81, 2006.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 1 ed. Revisão: Nicole Pagan Hasparyk. 674p.

MITIDIERI, Marcelo Luis; LOSHIMOTO, Eduardo. **Proposta de Classificação de Materiais e Componentes Construtivos com Relação ao Comportamento Frente ao Fogo** - Reação ao Fogo. São Paulo: EPUSC, 1998. 25 p.

MODELLING THE CHAR BEHAVIOUR OF STRUCTURAL TIMBER. P. W. C. Lau; I. Zeeland; R. White. In: Proceedings of the Fire and Materials. 98 Conference 23-24 February. 5 th International Conference, San

Antonio-Texas, 1998.

MORAES, Poliana Dias de. **Dimensionamento de estruturas de madeira em situação de incêndio**. 2008. 110 p. (apostila) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

ONO, Rosária. **Segurança contra incêndios em edificações** – um sistema de coleta e análise de dados para avaliação de desempenho. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

_____. **Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos**. Ambiente Construído, São Paulo, v. 7, p. 97-113, 2007.

PANNONI, Fabio Domingos. Proteção de estruturas metálicas frente ao fogo: fundamentos, legislação e materiais. In: III SEMINÁRIO DO USO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL - CDEMEX/NEXEM, 2003, Vitória, p.11, 2003.

_____. **Coletânea do uso do aço: princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 3. ed. Belo Horizonte: Perfil Gerdau Açominas, 2004. 90 p.

_____. **Proteção estrutural contra incêndio**. Módulo 09, Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2009. 66 p. (Curso a distância – via internet).

PINTO, Edna Moura. A madeira: um material construtivo resistente ao fogo. **Revista eletrônica de ciências**. N.27. São Carlos, agosto de 2004.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Sistemas estruturais em aço na arquitetura**: características do aço na construção. Módulo 2, 3, e 10, Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2009. 55 p. (Curso a distância – via internet).

ROSSO, T. **Incêndios e arquitetura**. Apostila. São Paulo: FAUUSP, 1975.

SANTA CATARINA. Norma de segurança contra incêndio. Informativo Normativo IT no 003/DAT/CBMSC. Florianópolis: Corpo de Bombeiro Militar de Santa Catarina, 2006. 7p.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros – Polícia Militar do Estado de São Paulo (CB-PMESP). **Segurança estrutural nas edificações** – resistência ao fogo dos elementos de construção. Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros. IT 08. 2004.

_____. **Segurança estrutural nas edificações** – controle de materiais de acabamento e revestimento. Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros. IT 10. - 2005.

SEITO, A. I. *et al.* **A segurança contra incêndios no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. 496p.

SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas de aço em situação de incêndio**. São Paulo: Zigurate, 2004. 249 p.

SILVA, Valdir Pignatta e, *et al.* Resistência ao fogo para estruturas. Determinação do tempo requerido de resistência ao fogo pelo Método do Tempo Equivalente: uma contribuição à revisão da NBR 14432:2000. **Téchne. Revista de Tecnologia da Construção**, São Paulo, v. 104, p. 58-62, 2005.

SILVA, Valdir Pignatta e, *et al.* **Prevenção contra incêndios no Projeto de Arquitetura**. Rio de Janeiro: IBS/CBSA, 2010. 72 p. (Série Manual de Construção em Aço).

SILVA, Ascânio Merrighi de Figueiredo. **Arquitetura de edifícios em aço**. Apostila, CEACON, 2007.

SILVEIRA, Antônio Manoel da. **Prevenção e combate a incêndios**. 2. ed. Itajaí: Edeme, 1988. 266 p.

SMITH, Adrian. **Revista Knowledge**: para mentes curiosas. São Paulo: Ediouro Gráfica, n. 5, nov. 2009. Mensal. Entrevista - Arquiteto autor do projeto da Burj Califa – Dubai.

TOSCANO, João Walter; Do encontro inesperado à investigação sobre o aço. Entrevista - **Revista Finestra** - Ano 13 - no 54 - Jul/Ago/Set – 2008.

VARGAS, Mauri Resende; SILVA, Valdir Pignatta e. **Resistência ao fogo das estruturas de aço**. Rio de Janeiro: IBS/CBSA, 2003. 78 p. (Série Manual de Construção em Aço).

VEJA. São Paulo: Abril, n. 2170, 23 jun. 2010. Semanal. Arquitetura - Santiago Calatrava, Criador dos prédios espetaculares, p. 136 a 139.

VLACK, Lawrence Hall Van. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 297 p.

WILCOX, W. Wayne, *et al.* **Wood as a building material: a guide for designers and builders**. 1991.

ZANETTINI, Siegbert. **A Obra em aço de Zanettini**. São Paulo: J.J. Carol, 2007. 96 p.

_____. **Revista Arquitetura & Aço**. Rio de Janeiro: Roma Editora, jan. 2010.

Referências da Internet

AECweb. Disponível em:

<http://www.aecweb.com.br/aec-news/materia/2230/arquitetura-brasileira-um-triste-cenario.html>. Acesso em: 14 jun. 2010.

_____. Disponível em:

<http://www.aecweb.com.br/destaques>. Acesso em: 14 jun. 2010.

EUCATEX (2010). **Isopiro e Isopiro LV**. Disponível em

<http://www.eucatex.com.br/eucatex/descricao.asp?b2=&a1=15%&a2=106>. Acesso em: 18 jun. 2010.

GRACE CONSTRUCTION PRODUCTS - **Monokote Z- 146**. Disponível em:

<http://www.br.graceconstruction.com/product.cfm?mode=c&id=29&id=19>. Acesso em: 27 jun. 2010.

GRUPO SISTEMA (2010). Disponível em:

<http://www.gruposistema.com.br/termosist.html>. Acesso em: 14 mai. 2010.

KNAUF DO BRASIL. Disponível em:

http://www.knauf.com.br/folder/fireboard/pdf/apostila_fireboard.pdf. Acesso em: 15 jul. 2010.

LAFARGE. Disponível em:

http://www.lafarge.com.br/wps/portal/br/4_3_A-Products. Acesso em: 15 mai. 2010.

PCF Soluções - Blaze Shield II. Disponível em:

http://www.pcf.com.br/PCF_Solucoes/Argamassas_CCivil.html. Acesso em 13 jul. 2010.

MEC – MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. Instituição de educação superior e cursos cadastrados. Disponível em: <http://emec.mec.gov.br/> Acesso em 12 mai. 2010.

REFRASOL. Disponível em:

http://www.refrasol.com.br/estruturas_metalicas.htm. Acesso em: 13 jul. 2010.

ROCKFIBRAS DO BRASIL. Disponível em:

<http://www.rockfibras.com.br/> Acesso em: 14 mai. 2010.

SIPOREX (2010). Disponível em:

<http://www.siporex.com.br/paineis.htm>. Acesso em: 27 jun. 2010.

FABERFRAX (2010). Disponível em:

http://www.tecnotermo.com.br/prod_fibra_ceramica/manta_durablan_ket.htm. Acesso em 18 mai. 2010.

TERMOCOM – Materiais térmicos. Disponível em:

www.termocom.com.br/sistema/metalicas.php. Acesso em: 17 jul. 2010.

TINTAS CALAMAR. Disponível em:






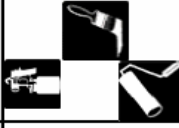


<http://www.tintascalamar.com.br/produtos.htm>. Acesso em: 18 mai. 2010.

UNIFRAX. Disponível em:

<http://www.unifrax.com.br/pdf/Nullifire%20Basecoat%20S605.pdf>
Acesso em: 18 mai. 2010.





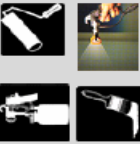


APÊNDICES

APÊNDICE A: Tintas e vernizes não intumescentes

Produtos	Composição	Rendimento/ embalagem	Forma de aplicação	Acabamento	Local de aplicação	Site	Obs.
Solução ignífuga (Fireguard)	Produtos químicos preparados a base de Fosfato Monoamônico	0,300 litros/ m ² Embalagens de 3,6 litros	 ou imersão	Incolor	Painéis de madeira sem revestimentos	www.anchorflex.com.br acesso em: 02/06/2010 Anchorflex Industrial e Comercial Ltda	O tempo de secagem depende do substrato, da umidade e temperatura.
Tinta anti-chama "Pergalin Antiflama"	A base de borracha clorada	38 m ² / 3,6 litros		Cor branca Outras cores sob consulta	Madeira e metais	www.plastoflex.com.br acesso em: 02/06/2010 Plastoflex tintas e plástico Ltda.	
Solução ignífuga (Retardador de chamas Salva Madeira - NFW)	Não Fornecido 	500 gramas/ m ² Embalagem plástica de 20 kg	 ou imersão	Incolor, transparente e flexível	Madeira, casas de madeira, forros, telhados e outros. Uso interno/externo	www.antrhams.com.br acesso em: 02/06/2010 Flooringtec do Brasil Ltda.	Para impermeabilizar utilize imperme interno ou imperme externo
Retardante de chamas (CKC-2020)	Não fornecido 	Embalagem plástica de 5 e 20 litros		Incolor	Madeira, casas de madeira, quiosques, forros, telhados, portas e outros.	www.ckc.com.br acesso em: 02/06/2010 CKC do Brasil Ltda.	De uso restrito em materiais que absorvam líquidos. Classificação "A" no teste de propagação de chamas
Verniz retardante de chamas CKC-141vr	Não especificada 	Rendimento não especificado Embalagens de 3,6 litros		Acabamento brilhante/liso. Opcional fosco – CRC-167	Superfícies de madeira, forros, portas, rodapés, escadas, divisórias, e outros..	www.ckc.com.br acesso em: 02/06/2010 CKC do Brasil Ltda.	Classificação "B" no teste de propagação de chamas

Notas: Os dados contidos na presente tabela foram fornecidos pelos fabricantes.

APÊNDICE B: Tintas e vernizes intumescentes

Produtos	Composição	Rendimento / embalagem	Forma de aplicação	Acabamento	Local de aplicação	Site	Obs.
Tinta ignífuga intumescente (CKC-268) CKC do Brasil Ltda.	Não especificada 	Rendimento não especificado Embalagens de 3,6 litros		Cor branca e textura lisa.	Madeiras, divisórias, forros, telhados e outros.	www.ckc.com.br acesso em: 02/06/2010 CKC do Brasil Ltda.	
Verniz ignífugo intumescente (CKC-141vi) CKC do Brasil Ltda.	Não especificada 	Rendimento não especificado Embalagens de 3,6 litros		Fosco	Madeira, paredes de madeiras, forros, divisórias e outros.	www.ckc.com.br acesso em: 02/06/2010 CKC do Brasil Ltda.	Classificação "A" no teste de propagação de chamas
Tinta ignífuga intumescente (calatherm 600) Tintas Calamar Indústria e Comércio Ltda.	Polímeros epóxi	Rendimento e embalagem não especificados		Fosco Cor Branca	Recomendados especialmente para aços estruturais de uso interno e externo.	www.tintascalamar.com.br acesso em: 02/06/2010	
Tinta ignífuga intumescente (Fireteel 47-1) CKC do Brasil Ltda.	Não especificada 	Rendimento não especificado Embalagens de 3,6 e 18 litros		Não especificado	Estrutura metálica	www.ckc.com.br acesso em: 02/06/2010 CKC do Brasil Ltda.	Proteção até 90 minutos

Notas: Os dados contidos na presente tabela foram fornecidos pelos fabricantes.

APÊNDICE C: Cursos de Arquitetura em Santa Catarina (cont.)

7	UNESC (Criciúma)	(N)	Não informado no site	http://www.unesc.net/graduacao/v1_37_1/index.php?y=arquitetura Acesso em: 14 de junho, 2010.
8	UNOCHAPECÓ (Chapecó)	(N)	Não informado no site	http://www.unochapeco.edu.br/arquitetura/o-curso/matriz#menu-sobre-curso
9	UNERJ (Jaruaguá do Sul) 2008-2	(N)	4 ^a – Fase – AU53 - Tecnologia da Arquitetura E Urbanismo II: Instalações Hidráulicas (40 h/a) Ciclos dos recursos hídricos. Noções gerais de hidráulica: escoamento de líquidos, conduto forçado, fórmulas para a solução de problemas típicos de hidráulica, exercícios práticos e aplicações. Instalação de água fria e água quente em edifícios. Instalações de gás. Canalização de águas pluviais, Esgoto predial. Sistemas preventivos de incêndios.	http://www.unerj.br/graduacao/cursos.php?id=57 Acesso em: 15 de junho, 2010.
10	TUPY-IST-IST (Joinville) 2009	(N)	7 ^a Fase – AU155 - Instalações prediais hidráulico-sanitárias e de gás (40 h/a) Noções de Hidráulica Geral: hidrostática, hidrodinâmica, equações fundamentais, escoamento em condutos livres e forçados. Instalações prediais de água fria. Projeto, traçado e dimensionamento. Instalações prediais de esgoto. Instalações prediais de águas pluviais. Instalações prediais de água quente. Instalações prediais de combate a incêndio. Instalações prediais de gás combustível. Atividades de laboratório: Instalações hidráulicas, sanitárias e gás. Noções de Hidráulica Geral: hidrostática, hidrodinâmica, equações fundamentais, escoamento em condutos livres e forçados. Instalações prediais de água fria. Projeto, traçado e dimensionamento. Instalações prediais de esgoto. Instalações prediais de águas pluviais. Instalações prediais de água quente. Instalações prediais de combate a incêndio. Instalações prediais de gás combustível. Atividades de laboratório: Instalações hidráulicas, sanitárias e gás.	http://www.sociedadec.org.br/ist/ist/contendo.php?lng=2&id=1304&mmu=5693&top=0&ors=88 Acesso em: 15 de junho, 2010.
11	FA-AA (Florianópolis) 2004-1	(N)	Não informado no site	http://www.barddal.br/faculdades/site/docs/arquitetura/matriz_arquitetura_2009.pdf Acesso em: 15 de junho, 2010.
12	UNC (Curitiba)	Não informado no site	Não informado no site	http://www.unc.br/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=28 Acesso em: 15 de junho, 2010.
13	FACC (Concórdia)	(N)	Não informado no site	http://www.facc.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=29&Itemid=27 Acesso em: 15 de junho, 2010.
Fonte: (http://femec.mec.gov.br/)				

ANEXOS

ANEXO A: Determinação da Carga de Incêndio por equações

De acordo NBR 14432/20001:

$$q_{fi} = \frac{\sum M_i H_i}{A_f} \quad [1]$$

Onde:

q_{fi} → é o valor da carga incêndio específica, em megajoules por metro quadrado de área de piso (MJ/m^2);

M_i → é a massa total de carga componente i do material combustível em quilogramas (kg). Este valor não pode ser excedido durante a vida útil da edificação, exceto quando houver alteração de ocupação, ocasião em que M_i deve ser avaliado;

H_i → é o potencial calorífico específico de cada componente i do material combustível, em megajoules por quilograma (MJ/kg);

A_f → é a área do piso do compartimento, em metros quadrados (m^2).

Conforme a Norma de segurança contra incêndio – NSCI do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Santa Catarina, através da Instrução Normativa, IN N° 003/DAT/CBMSC (2006):

$$Q = K_i \cdot P_i \quad [2]$$

Q → quantidade de calor (Kcal)

i → unidade considerada

K → poder calorífico (kcal/kg)

p → peso do combustível (kg)

$$q_e = \frac{\sum Q}{S} \quad [3]$$

q_e → carga de incêndio específica – (Kcal/m^2)

Q → quantidade de calor (Kcal)

S → área da edificação ou do compartimento (m^2)

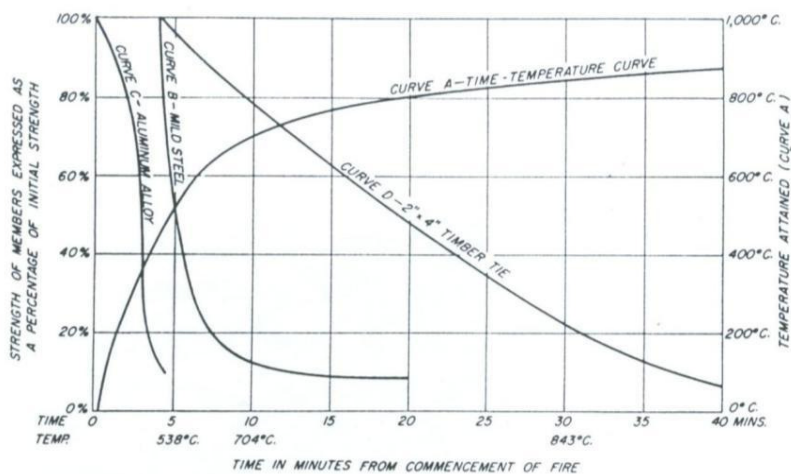
ANEXO B: Variações dimensionais da madeira sob ação do calor

Temperatura (°C)	Alterações na Madeira
55	A estrutura natural da lignina é alterada. A hemicelulose começa a amolecer.
70	Começa a retração transversal da madeira.
110	A lignina lentamente começa a perder peso.
120	O teor de hemicelulose começa a diminuir, e a celulose começa a aumentar. A lignina começa a amolecer.
140	A água de impregnação é liberada.
160	A lignina se funde e começa a ressolidificar.
180	A hemicelulose começa rapidamente a perder peso depois de ter perdido 4 %. A lignina da membrana de pontuação escoa.
200	A madeira começa a perder peso rapidamente. As resinas fenólicas começam a se formar e a celulose a se desidratar.
210	A lignina solidifica. A celulose amolece e despolimeriza-se. As reações endotérmicas transformam-se em exotérmicas.
225	A cristalinidade da celulose diminui e é retomada.
280	A lignina atinge 10 % de perda de peso. A celulose começa a perder peso.
288	Temperatura adotada para carbonização da madeira.
300	O cerne amolece irreversivelmente.
320	A hemicelulose é completamente degradada.
370	A celulose tem perda de 83 % do seu peso inicial.
400	A madeira é completamente carbonizada.

Fonte: SCHAFFER (1973).

Alterações provocadas termicamente na madeira seca em atmosfera inerte

ANEXO C: Resistência da madeira, aço e do alumínio as várias temperaturas



Fonte: U.S. Forest Products Laboratory. 1991, p.111.

ANEXO D: Tempo requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minutos – (NBR 14432/2001 – Tabela A.1)

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do solo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _{st} > 10 m	Classe S ₂ h _{st} ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviço de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultural física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-3 a G-5							
		G-1 e G-2 Abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucional	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Fonte:

ABNT, 2001, p.7.

ANEXO E: Polícia Militar do Estado de São Paulo, (CB-PMESP)

ANEXO A.: Para a classificação detalhada das ocupações (Grupo e Divisão) consultar a Tabela 1 do Decreto Estadual 46.07690.1.

Tabela A – Tempos requeridos de residência ao fogo (TRRF)

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Profundidade do Subsolo bs				Atura da edificação h				h > 80m
			Classe S ₂ bs > 10m	Classe S ₁ bs ≤ 10m	Classe P ₁ h ≤ 6m	Classe P ₂ 6m < h ≤ 12m	Classe P ₃ 12m < h ≤ 23m	Classe P ₄ 23m < h ≤ 30m	Classe P ₅ 30m < h ≤ 80m		
A	Residencial	A-1, A-3	90	60	30	30	60	90	120	CT	
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120	CT	
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60 (30)	60	60	90	120	CT	
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	CT	
		D-1, a D-3	90	60	30	60 (30)	60	90	120	CT	
E	Educacional e cultura física	E-1, a E-6	90	60	30	30	60	90	120	CT	
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-10	90	60	60 (30)	60	60	90	120	CT	
		F-3, F-4 e F-7	90	60	ver item A.2.3.3.						
		F-9	CT								
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120	CT	
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60	120	
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	CT	
		H-2, H-3 e H-5	90	60	30	60	60	90	120	CT	
I	Industrial	I-1	90 (60)	60 (30)	30	30	30	60	120	CT	
		I-2	120	90	30	30	60 (30)	90	120	CT	
J	Depósitos	I-3	120	90	60 (30)	60 (30)	120 (60)	120	120	CT	
		J-1	60	30	ver item A.2.3.4.						
		J-2	90	60 (30)	30	30	30	30	60	CT	
		J-3	90	60 (30)	30	60	60	120 (60)	120	CT	
		J-4	120	90	60	60	90 (60)	120 (60)	120	CT	
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	120	120	CT	CT				
M	Especial	M-1	150	150	150	CT					
		M-2	120	90	90	90	120	CT			
		M-3	120	90	90	90	120	CT			

NOTAS:

1. CT = Utilizar Comissão Técnica junto ao Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo.

Os tempos entre parênteses podem ser usados nas edificações nas quais cada pavimento tenha área menor ou igual a 760m², desde que haja compatimentação vertical entre os pavimentos.

NOTAS:

1. CT = Utilizar Comissão Técnica junto ao Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo.
2. Os tempos entre parênteses podem ser usados nas edificações nas quais cada pavimento tenha área menor ou igual a 700m², desde que haja compartimentação vertical entre os pavimentos.
3. O TRRF dos subsolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo (ver item 3.10)

Fonte: SÃO PAULO. POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2004, p.6.

ANEXO F: Procedimento de cálculo do valor do tempo equivalente

Segundo Silva *et al.* (2005), no procedimento de cálculo, o valor do tempo equivalente deve ser determinado pela mesma expressão (eq. 1) recomendada pelo EUROCODE 1 de 2002.

$$t_e = q_{fi,k} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot K \cdot W \cdot M$$

Onde:

t_e = tempo equivalente (min);

$q_{fi,k}$ = valor característico da carga de incêndio específica determinado segundo a NBR 14432:2000 (MJ/m²);

γ_n = coeficiente que leva em conta a presença de medidas de proteção ativa da edificação;

γ_s = coeficiente de segurança que depende do risco de incêndio e das conseqüências do colapso da edificação;

K = fator relacionado às características térmicas dos elementos de vedação;

W = fator relacionado à ventilação do ambiente;

M = fator de correção que depende do material da estrutura.

Obs. Valores de γ_n , γ_s , K , W e M , são determinados por equações e tabelas.

Segundo Instrução Técnica N^o 08, do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do estado de São Paulo, no procedimento de cálculo o tempo equivalente deve ser determinado pela expressão:

$$t_{eq} = q_{fi} \gamma_n \gamma_s K W \geq 30 \text{ minutos}$$

Onde:

t_{eq} – tempo equivalente (minutos).

q_{fi} – carga de incêndio (MJ/m²).

$\gamma_n = \gamma_{n1} \gamma_{n2} \gamma_{n3}$ – coeficiente adimensional que leva em conta a presença de medidas de proteção ativa da edificação, determinado conforme a tabela C2.


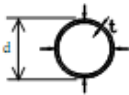
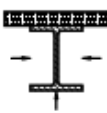
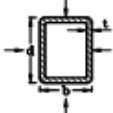
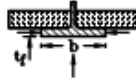
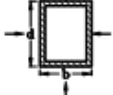
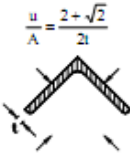
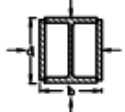


$\gamma_s = \gamma_{s1} \gamma_{s2}$ – coeficiente de segurança que depende do risco de incêndio e das conseqüências do colapso da edificação, determinado conforme tabelas C3 e C4.

K – fator determinado conforme tabela C1.

W = fator relacionado à ventilação do ambiente;

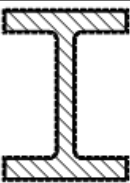

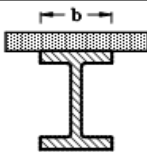
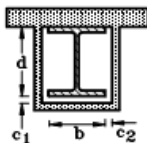
Obs. As tabelas fazem parte da Instrução Técnica N^o 08 - CB-PMESP.

ANEXO G: Fator de massividade para alguns elementos estruturais sem proteção

<p>Seção aberta exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{\text{perímetro}}{\text{área da seção transversal}}$ 	<p>Seção tubular de forma circular exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{d}{t(d-t)}$ 
<p>Seção aberta exposta ao incêndio por três lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{\text{perímetro exposto ao incêndio}}{\text{área da seção transversal}}$ 	<p>Seção tubular de forma retangular (ou seção caixão soldada de espessura uniforme) exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{b+d}{t(b+d-2t)}$ 
<p>Mesa de seção I exposta ao incêndio por três lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{b+2t_f}{bt_f}$ 	<p>Seção caixão soldada exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{2(b+d)}{\text{área da seção transversal}}$ 
<p>Cantoneira de exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{2+\sqrt{2}}{2t}$ 	<p>Seção I com reforço em caixão exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{2(b+d)}{\text{área da seção transversal}}$ 
<p>Chapa exposta ao incêndio por todos os lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{2(b+t)}{bt}$ 	<p>Chapa exposta ao incêndio por três lados:</p> $\frac{u}{A} = \frac{b+2t}{bt}$ 

Fonte: ABNT, 2003, p.35.

ANEXO H: Fator de massividade para alguns elementos estruturais com proteção

Situação	Descrição	Fator de massividade (u_{eff}/A)
	Seção com proteção tipo contorno de espessura uniforme exposta ao incêndio por todos os lados	$\frac{\text{perímetro da seção da peça de aço}}{\text{área da seção da peça de aço}}$
	Seção com proteção tipo caixa, de espessura uniforme exposta ao incêndio por todos os lados	$\frac{2(d + c_1 + b + c_2)}{\text{área da seção da peça de aço}}$
	Seção com proteção tipo contorno, de espessura uniforme exposta ao incêndio por três lados	$\frac{\text{perímetro da seção da peça de aço} - b}{\text{área da seção da peça de aço}}$
	Seção com proteção tipo caixa, de espessura uniforme exposta ao incêndio por três lados	$\frac{2d + c_1 + b + 2c_2}{\text{área da seção da peça de aço}}$

Fonte: ABNT, 2003, p.36.

ANEXO I: Carta de cobertura ampliada Argamassa jateada – Isopiro e Isopiro LV

u/A (m ²)	Tempo (minutos)					
	30	60	90	120	180	240
	Espessuras (mm)					
10	10	10	10	10	10	10
30	10	10	10	10	20	25
50	10	10	15	20	30	35
70	10	10	20	25	35	45
90	10	15	20	30	40	55
110	10	15	25	30	45	60
130	10	20	25	35	50	60
150	10	10	30	35	50	65
170	10	20	30	40	55	65
190	10	25	30	40	55	70
210	15	25	30	40	60	70
230	15	25	35	45	60	75
250	15	25	35	45	60	75
270	15	25	35	45	60	75
290	15	25	35	45	60	75
310	15	25	35	45	60	75
330	15	25	35	45	60	75
350	15	25	35	45	60	75
370	15	25	35	45	60	75
390	15	25	35	45	60	75

Fonte: EUCATEX, 2010.

Nota: plicadas por jateamento em camadas sucessivas, sendo que a primeira camada (sustentação) deve conter um aditivo para perfeita aderência à superfície metálica. Podem ainda ser aplicados manualmente em pequenas áreas ou reparos.

ANEXO J: Carta de cobertura ampliada. Espessura da tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de “I”, com os quatros lados expostos ao fogo, em função do fator de massividade F e TRRF, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$

F (m ⁻¹)	Nillifire/S605				Nillifire/S607	
	TRRF (minutos)				TRRF (minutos)	
	30	60	90	120	30	60
	Espessuras (mm)				Espessuras	
30	0,25	0,74	1,48	2,47	0,20	0,44
100	0,25	0,74	1,48	2,47	0,20	0,44
105	0,35	0,85	1,48	2,47	0,20	0,64
120	0,35	0,85	1,48	2,47	0,20	0,64
125	0,35	0,85	1,48	3,22	0,20	0,64
140	0,35	0,85	1,48	3,22	0,20	0,64
145	0,35	0,85	1,48	3,96	0,20	0,64
150	0,50	1,27	2,02	3,96	0,32	0,88
160	0,50	1,27	2,02	3,96	0,32	0,88
165	0,50	1,27	2,02	4,70	0,32	0,88
180	0,50	1,27	2,31	4,70	0,32	0,88
185	0,50	1,27	2,31	5,19	0,32	0,88
195	0,50	1,27	2,31	5,19	0,32	0,88
200	0,50	1,27	2,31	5,94	0,32	0,88
205	0,50	1,27	2,31	5,94	0,32	0,88
210	0,55	1,45	2,97	5,94	0,38	0,98
215	0,55	1,45	2,97	-	0,38	0,98
225	0,55	1,45	2,97	-	0,38	0,98
230	0,55	1,45	4,20	-	0,38	0,98
235	0,64	1,69	4,20	-	0,46	1,12
250	0,64	1,69	4,20	-	0,46	1,12
255	0,64	1,69	4,95	-	0,46	1,12
265	0,64	1,69	4,95	-	0,46	1,12
270	0,72	1,98	5,94	-	0,60	1,25
285	0,72	1,98	5,94	-	0,60	1,25
290	0,72	1,98	-	-	0,60	1,25
300	0,79	1,98	-	-	0,60	1,25
305	0,99	2,23	-	-	0,60	-
320	0,99	2,23	-	-	0,60	-

Fonte: SILVA, 2001, p.146.

ANEXO K: Carta de cobertura ampliada. Espessura da tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de "I", com os três lados expostos ao fogo, em função do fator de massividade F e TRRF, para $\theta_{cr} = 620^{\circ}\text{C}$

$F \text{ (m}^{-1}\text{)}$	Nillifire/S605				Nillifire/S607		
	TRRF (minutos)				TRRF (minutos)		
	30	60	90	120	30	60	90
	Espessuras (mm)				Espessuras (mm)		
30	0,25	0,50	0,98	2,47	0,20	0,40	1,20
60	0,25	0,50	0,98	2,47	0,20	0,40	1,20
65	0,25	0,50	1,24	2,47	0,20	0,40	1,20
90	0,25	0,50	1,24	2,47	0,20	0,40	1,20
95	0,25	0,50	1,49	2,47	0,20	0,40	1,20
100	0,25	0,50	1,49	2,47	0,20	0,40	1,20
105	0,25	0,56	1,49	2,47	0,20	0,42	1,20
115	0,25	0,56	1,49	2,47	0,20	0,42	1,20
120	0,25	0,56	1,49	2,97	0,20	0,42	1,20
125	0,25	0,56	1,74	2,97	0,20	0,42	1,20
130	0,25	0,56	1,74	3,46	0,20	0,42	1,20
140	0,25	0,56	1,74	3,46	0,20	0,42	1,20
145	0,25	0,71	1,74	3,96	0,20	0,49	1,20
150	0,25	0,71	1,74	3,96	0,20	0,49	1,20
155	0,25	0,71	2,23	4,45	0,20	0,49	1,20
165	0,25	0,71	2,23	4,45	0,20	0,49	1,20
170	0,25	0,71	2,23	4,95	0,20	0,49	-
175	0,25	0,71	2,23	4,95	0,20	0,49	-
180	0,25	0,71	2,23	-	0,20	0,49	-
185	0,25	0,86	2,23	-	0,20	0,54	-
210	0,25	0,86	2,23	-	0,20	0,54	-
215	0,25	1,02	2,48	-	0,20	0,59	-
240	0,25	1,02	2,48	-	0,20	0,59	-
245	0,25	1,16	3,97	-	0,25	0,73	-
250	0,25	1,16	3,97	-	0,25	0,73	-
255	0,25	1,16	4,96	-	0,25	0,73	-
260	0,25	1,16	-	-	0,25	0,73	-
265	0,25	1,16	-	-	0,25	0,73	-
270	0,50	1,50	-	-	0,40	1,10	-
320	0,50	1,50	-	-	0,40	1,10	-

Fonte: SILVA, 2001, p.147.

ANEXO L: Carta de cobertura ampliada. Espessura da manta Fiberflax Durablanket B6 ($\rho = 96 \text{ kg/m}^3$), em função do fator de massividade F e TRRF, para $\theta_{cr} = 550^\circ\text{C}$

F (m ⁻¹)	Faberflax Durablanket B6			
	TRRF (minutos)			
	30	60	90	120
	Espessuras (mm)			
20	12	12	12	12
30	12	12	12	12
35	12	12	12	19
40	12	12	12	19
45	12	12	19	19
50	12	12	19	19
55	12	12	19	26
75	12	12	19	26
80	12	12	19	38
85	12	12	19	38
90	12	12	26	38
120	12	12	26	38
125	12	12	38	50
130	12	12	38	50
135	12	19	38	50
175	12	19	38	50
180	12	19	38	63
225	12	19	38	63
230	12	19	50	63
255	12	19	50	63
260	12	19	50	75
300	12	19	50	75

Fonte: SILVA, 2001, p.148.

ANEXO M: Carta de cobertura ampliada. Espessura da manta Kaowool firemaster ($\rho = 96 \text{ kg/m}^3$), em função do fator de massividade F e TRRF, para $\theta_{cr} = 550^\circ\text{C}$

F (m^{-1})	Kaowool firemaster			
	TRRF (minutos)			
	30	60	90	120
	Espessuras (mm)			
30	12	12	12	12
40	12	12	12	19
50	12	12	19	25
60	12	12	19	25
70	12	12	19	32
80	12	12	26	32
90	12	12	26	38
100	12	19	26	38
110	12	19	26	44
120	12	19	32	44
130	12	19	32	44
140	12	19	32	50
150	12	19	38	50
160	12	19	38	63
170	12	26	38	63
180	12	26	44	63
190	12	26	44	63
200	12	26	44	63
210	12	26	44	76
220	12	26	50	76
230	12	26	50	76
240	12	26	50	76
250	12	26	50	76
260	12	63	63	76
270	12	63	63	76
280	12	63	63	-
290	12	63	63	-
300	12	63	63	-
310	12	63	63	-
320	12	63	63	-

Fonte: SILVA, 2001, p.149.

ANEXO N: Carta de cobertura ampliada. Espessura da manta
 Thermax-PEM em função do fator de massividade F e TRRF, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$

F (m^{-1})	Thermax-PEM			
	TRRF (minutos)			
	30	60	90	120
	Espessuras (mm)			
30	25	25	25	25
60	25	25	25	25
65	25	25	25	38
95	25	25	25	38
100	25	25	38	38
105	25	25	38	50
140	25	25	38	50
145	25	25	38	63
160	25	25	38	63
165	25	25	50	63
185	25	25	50	63
190	25	25	50	75
230	25	25	50	75
235	25	38	50	75
240	25	38	63	88
300	25	38	63	88
305	25	38	63	100
320	25	38	63	100

Fonte: SILVA, 2001, p.150.

ANEXO O: Carta de cobertura ampliada. Espessura da argamassa projetada Monokote MK6, em função do fator de massividade F e TRRF, para $\theta_{cr} = 650^{\circ}\text{C}$

F (m^{-1})	Monokote MK6			
	TRRF (minutos)			
	30	60	90	120
	Espessuras (mm)			
30	10	10	10	10
60	10	10	10	10
70	10	10	10	12
80	10	10	10	13
90	10	10	11	15
100	10	10	12	17
110	10	10	14	18
120	10	10	15	20
130	10	11	16	22
140	10	11	17	23
150	10	12	19	25
160	10	13	20	27
170	10	14	21	28
180	10	15	22	30
190	10	15	24	32
200	10	16	25	34
210	10	17	26	35
220	10	18	27	37
230	10	19	29	39
240	10	20	30	40
250	10	20	31	42
260	10	21	32	44
270	10	22	34	45
280	11	23	36	47
290	11	24	36	48
300	12	24	36	48
310	12	24	37	49
320	12	25	37	50

Fonte: SILVA, 2001, p.141.

ANEXO P: Carta de cobertura ampliada. Espessura da argamassa projetada Monokote MK6, em função do fator de massividade F e TRRF, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$

F (m ⁻¹)	Monokote MK6				
	TRRF (minutos)				
	30	60	90	120	180
	Espessuras (mm)				
30	10	10	10	10	15
40	10	10	10	13	20
50	10	10	12	16	24
60	10	10	14	18	27
70	10	10	15	21	31
80	10	11	17	23	34
90	10	12	18	25	37
100	10	13	20	26	40
110	10	14	21	28	42
120	10	15	22	30	45
130	10	16	23	31	47
140	10	16	25	33	49
150	10	17	26	34	52
160	10	18	27	36	53
170	10	18	28	37	55
180	10	19	28	38	57
190	10	19	29	39	59
200	10	20	30	40	61
210	10	20	31	41	62
220	10	21	32	42	64
230	10	21	32	43	65
240	10	22	33	44	66
250	11	22	34	45	-
260	11	23	34	46	-
270	11	23	35	47	-
280	11	23	35	47	-
290	12	24	36	48	-
300	12	24	36	49	-
310	12	24	37	49	-
320	12	25	37	50	-

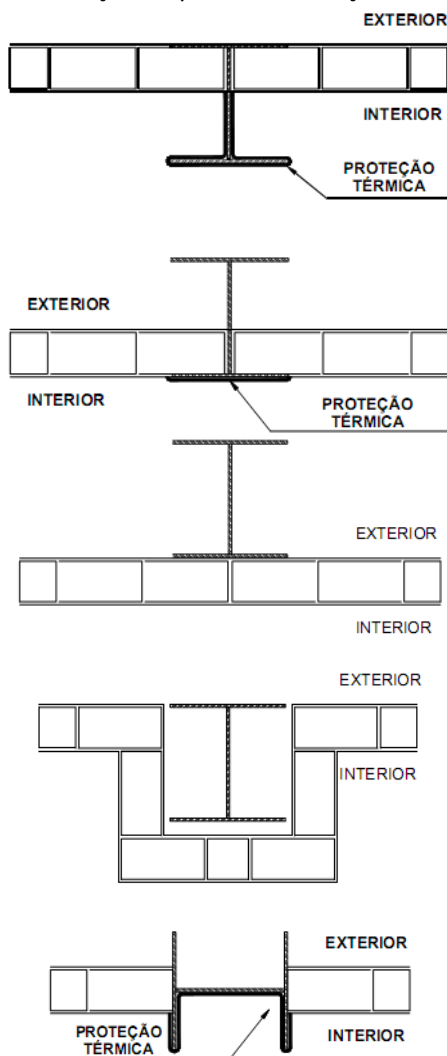
Fonte: SILVA, 2001, p.142.

ANEXO Q: Carta de cobertura ampliada. Espessura da argamassa projetada Blaze Shield II, em função do fator de massividade F e TRRF, para $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$

F (m^{-1})	Blaze Shield II			
	TRRF (minutos)			
	30	60	90	120
	Espessuras (mm)			
30	10	10	10	10
40	10	10	10	12
50	10	10	11	14
60	10	10	12	16
70	10	10	14	18
80	10	10	15	20
90	10	11	16	22
100	10	12	18	24
110	10	13	19	25
120	10	13	20	27
130	10	14	21	28
140	10	15	22	30
150	10	15	23	31
160	10	16	24	32
170	10	16	25	33
180	10	17	26	34
190	10	17	26	35
200	10	18	27	36
210	10	18	28	37
220	10	19	28	38
230	10	19	29	39
240	10	20	30	40
250	10	20	30	40
260	10	20	31	41
270	10	21	31	42
280	10	21	32	42
290	10	21	32	43
300	11	22	33	44
310	11	22	33	44
320	11	22	34	45

Fonte: SILVA, 2001, p.143.

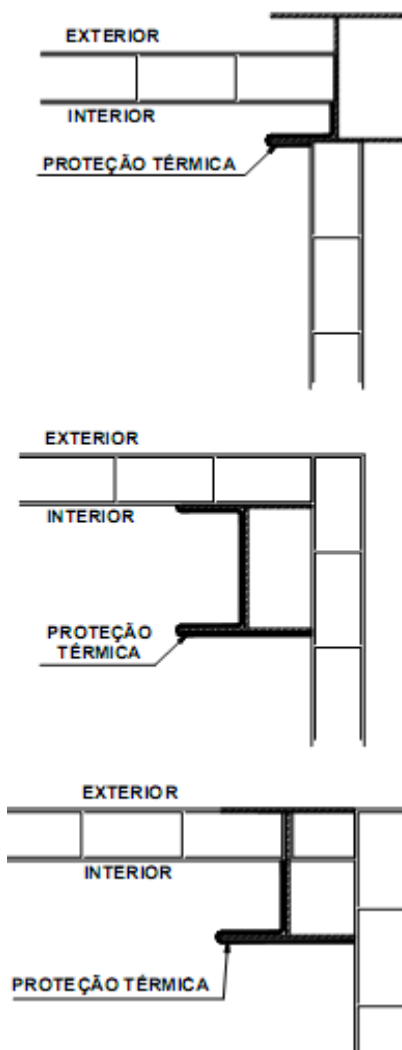
ANEXO R: Posição de pilares em relação à alvenaria



Pilares de fachada – interface com alvenaria

Fonte: VARGAS; SILVA, 2005, p.63.

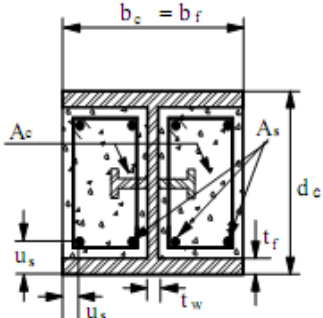
ANEXO S: Posição de pilares em relação à alvenaria



Pilares de canto – interface com alvenaria

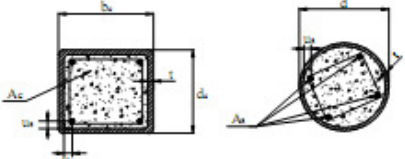
Fonte: VARGAS; SILVA, 2005, p.63.

ANEXO T: Dimensões mínimas da seção transversal, distâncias mínimas dos eixos das barras da armadura à face do concreto e taxas t_w/t_f

		Tempo requerido de resistência ao fogo (minuto)			
		30	60	90	120
1	Dimensões mínimas da seção transversal para o nível de carga $\eta\eta \leq 0,3$				
1.1	Dimensões mínimas de d_c e b_c (mm)	160	260	300	300
1.2	Distância mínima da face ao eixo das barras da armadura u_s (mm)	40	40	50	60
1.3	Relação mínima entre as espessuras da alma e da mesa t_w/t_f	0,6	0,5	0,5	0,7
2	Dimensões mínimas da seção transversal para o nível de carga $\eta\eta \leq 0,5$				
2.1	Dimensões mínimas de d_c e b_c (mm)	200	300	300	-
2.2	Distância mínima da face ao eixo das barras da armadura u_s (mm)	35	40	50	-
2.3	Relação mínima entre as espessuras da alma e da mesa t_w/t_f	0,6	0,6	0,7	-
3	Dimensões mínimas da seção transversal para o nível de carga $\eta\eta \leq 0,7$				
3.1	Dimensões mínimas de d_c e b_c (mm)	250	300	-	-
3.2	Distância mínima da face ao eixo das barras da armadura u_s (mm)	30	40	-	-
3.3	Relação mínima entre as espessuras da alma e da mesa t_w/t_f	0,6	0,7	-	-

Fonte: ABNT, 2003, p.55.

ANEXO U: Dimensões mínimas da seção transversal, taxas mínimas de armadura e distâncias mínimas entre os eixos das barras da armadura à face do perfil.

		Tempo requerido de resistência ao fogo (min)			
		30	60	90	120
Seção de aço: $(b_c/t) \geq 25$ e $(d_c/t) \geq 25$ ou $(d/t) \geq 25$					
1	Dimensões mínimas da seção transversal para o nível de carga $\eta_R \leq 0,3$				
1.1	Dimensões mínimas de d_c e b_c ou diâmetro mínimo d (mm)	160	200	220	260
1.2	Taxa mínima da armadura $A_s / (A_c + A_s)$ em %	0	1,5	3,0	6,0
1.3	Distância mínima da face ao eixo das barras da armadura u_s (mm)	-	30	40	50
2	Dimensões mínimas da seção transversal para o nível de carga $\eta_R \leq 0,5$				
2.1	Dimensões mínimas de d_c e b_c ou diâmetro mínimo d (mm)	260	260	400	450
2.2	Taxa mínima da armadura $A_s / (A_c + A_s)$ em %	0	3,0	6,0	6,0
2.3	Distância mínima da face ao eixo das barras da armadura u_s (mm)	-	30	40	50
3	Dimensões mínimas da seção transversal para o nível de carga $\eta_R \leq 0,7$				
3.1	Dimensões mínimas de d_c e b_c ou diâmetro mínimo d (mm)	260	450	550	-
3.2	Taxa mínima da armadura $A_s / (A_c + A_s)$ em %	3,0	6,0	6,0	-
3.3	Distância mínima da face ao eixo das barras da armadura u_s (mm)	25	30	40	-

Fonte: ABNT, 2003, p.56.

ANEXO V: Dimensões mínimas das espessuras das lajes cogumelos e nervuradas

Tabela 5 — Dimensões mínimas para lajes lisas ou cogumelo

TRRF min	h mm	c_1 mm
30	150	10
60	180	15
90	200	25
120	200	35
* Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.		

Tabela 6 — Dimensões mínimas para lajes nervuradas biapoiadas

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{min}/c_1^{1)}$ mm/mm			Capa* $h/c_1^{2)}$ mm/mm
	1	2	3	
30	80/15			80/10
60	100/35	120/25	190/15	80/10
90	120/45	160/40	250/30	100/15
120	160/60	190/55	300/40	120/20
¹⁾ b_{min} corresponde à largura mínima da nervura. ²⁾ h corresponde à altura da laje. * Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.				

Fonte: ABNT, 2004, p.13.